

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského
inženýrství

Řídicí systém pro automatický
provoz laboratoře palivových článků

Control System for Automatic
Operation of Fuel Cell Lab

2017/2018

Bc. Filip Krupa

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Filip Krupa**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 2612T041 Řídicí a informační systémy

Téma: **Řídicí systém pro automatický provoz laboratoře palivových článků**
Control System for Automatic Operation of Fuel Cell Lab

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Diplomová práce se zabývá návrhem a realizací řízení provozu laboratoře palivových článků pro dva režimy - manuální a automatické řízení.

Cílem je analýza, implementace řídicího software pro instalované PLC a dokumentace řešení s ohledem na bezpečnost a zabezpečení provozu a propojení s jinými reálnými technologiemi.

V souhrnu je práce charakterizována následujícími body:

1. Analýza provozu laboratoře palivových článků v manuálním režimu.
2. Analýza provozu laboratoře palivových článků v automatickém režimu.
3. Návrh a realizace řídicího algoritmu pro automatický režim provozu.
4. Konfigurace provozního prostředí pro výměnu dat s ostatními instalovanými technologiemi.
5. Konfigurace provozního prostředí pro provoz vizualizace.
6. Zhotovení dokumentace řešení.
7. Zhodnocení výsledků řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] PETRUZELLA, Frank D. *Programmable Logic Controllers*. 5th Edition. New York: McGraw-Hill, 2017. ISBN 978-0073373843.
- [2] RINALDI, John S. *OPC UA - Unified Architecture: The Everyman's Guide to the Most Important Information Technology in Industrial Automation*. 1 edition. [s.l.]: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2016. ISBN 978-1530505111.
- [3] KRUTZ, Ronald L. *Industrial Automation and Control Systems Security Principles*. 2 edition. International Society of Automation, 2016. ISBN 978-1937560638.
- [4] BEHLING, Noriko H. *Fuel Cells: Current Technology Challenges and Future Research Needs*. 1 edition. [s.l.]: Elsevier, 2012. ISBN 978-0-444-56325-5.
- [5] ŠMEJKAL, Ladislav. *PLC a automatizace. 2. díl, Sekvenční logické systémy a základy fuzzy logiky*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-087-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

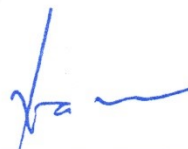
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Slanina, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018



doc. Ing. Jiří Kozíorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

.....*Krupa*.....
Filip Krupa

Datum odevzdání 30. 4. 2018

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce, za trpělivost a odbornou pomoc, dále taky své rodině za podporu při vypracování mé práce.

Abstrakt

Tato práce se zabývá řízením všech systémů potřebných pro správnou funkci vodíkových palivových článků. Zabýval jsem se analýzou jak manuálního, tak i možnostmi automatického řízení palivových článku a technologií k tomu potřebných. Na základě získaných poznatků jsem realizoval program pro PLC, který řídí celou technologii palivových článku. Dále jsem realizoval komunikaci mezi více PLC. V neposlední řadě jsem připravil řídicí systém pro napojení s vizualizací a databázovým serverem pro možnost dlouhodobé analýzy dat.

Klíčová slova

Programovatelný logický automat, palivový článek, řídicí systém, automatizace

Abstract

This work deals with the management of all systems necessary for the correct function of hydrogen fuel cells. I dealt with the analysis of both manual and automated fuel cell control and technologies needed for operating them. Based on the lessons I have learned, I have implemented a PLC program that manages the whole fuel cell technology. I also realised communication between multiple PLCs. Last but not least, I have prepared a control system for connection with visualisation and a database server for long-term data analysis.

Key Words

Programmable logical computer, fuel cell, control systém, automatization

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	8
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
1 Úvod	11
2 Analýza řízení laboratoře palivových článků	12
2.1 Jednotlivé části vodíkové laboratoře	12
2.1.1 Palivové články	12
2.1.2 Kompresory vzduchu	13
2.1.3 Zvlhčovač	13
2.1.4 Chlazení	14
2.1.5 DC/DC měnič	14
2.2 Hardware	15
2.2.1 PLC	15
2.2.2 Vzdálené periferie	17
2.2.3 Akční prvky	23
2.2.4 Senzory	23
3 Analýza provozu laboratoře v manuálním režimu	26
3.1 Analýza stavu PLC a jeho programu	26
3.1.1 Vnitřní čas v PLC	26
3.1.2 Popis programu v PLC	26
3.2 Výměna dat s jinými technologiemi	26
3.3 Propojení s vizualizací	27
4 Analýza provozu laboratoře v automatickém režimu	29
4.1 HW pro automatický režim	29
4.2 SW pro automatický režim	29
5 Realizace manuálního režimu	30
6 Návrh a realizace automatického režimu	36
6.1 Přepínání režimů	37
6.1.1 Místní	37
6.1.2 Automat	37

6.1.3	Ruční	37
6.2	Globální podmínky pro běh automatu.....	38
6.3	Návrh a realizace komunikace mezi PLC	38
6.3.1	Zajištění komunikace	38
6.4	Nastavení komunikace s PČ	38
6.4.1	Konfigurace PČ	38
6.4.2	Zpráva vyčítaná z PČ	39
6.5	Diagnostika vzdálených periférií.....	39
6.5.1	Popis programu	40
6.6	Zapínací sekvence	40
6.7	Automatický běh	41
6.7.1	Čištění membrány článku.....	42
6.7.2	Zvlhčování vzduchu pro PČ	43
6.7.3	Přívod vzduchu pro PČ	43
6.8	Vypínací sekvence.....	43
6.9	Popis funkčních bloků realizujících automatický režim	44
7	Konfigurace provozního prostředí pro výměnu dat s ostatními instalovanými technologiemi a vizualizací	48
7.1	CPU-CPU komunikace	48
7.1.1	Struktura	48
7.1.2	PUT	48
7.1.3	GET	48
7.2	Komunikace PLC a databáze	49
7.3	Komunikace PLC a vizualizace	49
7.3.1	DB Hodnoty	49
7.3.2	DB Parametry	50
7.3.3	DB Alarmy	50
7.3.4	DB Povely	50
8	Závěr	51
	Literatura	52

Seznam použitých symbolů a zkratk

PLC	programovatelný logický automat
DC	stejnosměrný proud (direct current)
AC	střídavý proud (alternating current)
V	jednotka napětí
PČ	palivový článek
CPU	centrální procesorová jednotka (central processing unit)
PEM	polymerní elektrolytická membrána (polymer electrolyte membrane)
DB	datový blok

Seznam obrázků

Obr. 1 Palivové články	12
Obr. 2 Kompresor zvlhčovače.....	14
Obr. 3 CPU 412-5H.....	15
Obr. 4 Napájecí zdroj pro S7-400H	16
Obr. 5 Vzdálená periferie ET200S	17
Obr. 6 Vzdálená periferie pro ovládání ventilů.....	20
Obr. 7 Zařízení pro měření koncentrace plynů.....	21
Obr. 8 HD67045	21
Obr. 9 HD67561	22
Obr. 10 HD67552.....	23
Obr. 11 Senzory průtoku	24
Obr. 12 Schéma komunikace jednotlivých HW prvků.....	25
Obr. 13 Schéma původní komunikace mezi PLC	27
Obr. 14 Původní realizace komunikace mezi PLC a vizualizací.....	28
Obr. 15 Kód pro zajištění cyklického otevírání ventilu dle zvolených časů.	33
Obr. 16 Vývojový diagram pro režim automat	36
Obr. 17 Stavový diagram zobrazující přepínání stavů	37
Obr. 18 Stavový diagram pro zapínací sekvenci.....	41
Obr. 19 Aktivitní diagram pro automatický běh	42
Obr. 20 Aktivitní diagram pro algoritmus čištění membrány	43
Obr. 21 Schéma komunikace mezi PLC vizualizací a databází	49

Seznam tabulek

Tab. 1 Přídavné karty pro CU101	17
Tab. 2 Přídavné karty pro CU102	18
Tab. 3 Přídavné karty pro +70BJS	18
Tab. 4 Přídavné karty pro +RM1	19
Tab. 5 Přídavné karty pro RM1	20
Tab. 6 Správa pro nastavení měřící jednotky.	39
Tab. 7 Zpráva z PČ.....	39
Tab. 8 Vstupy a výstupy pro FC550	45
Tab. 9 Vstupy a výstupy pro FB552	46
Tab. 10 Vstupy a výstupy pro FB554	46

1 Úvod

V mé diplomové práci se budu zabývat řízením vodíkové laboratoře. Tento rozsáhlý úkol budu řešit v týmu tří lidí. Mým úkolem bude v rámci týmu zajistit programování PLC a připravit data pro vizualizaci a ukládání do databáze. Průnikem našich prací se stane serverová část vizualizace. V této části je potřeba zajistit spolehlivou a rychlou komunikaci mezi PLC a klienty vizualizace, a také zajistit, aby se důležitá data a řídicí signály ukládaly do databáze pro následné analýzu.

Řízení vodíkové laboratoře není potřeba tvořit úplně od začátku, ale je nám uložen úkol upravit již hotové řešení. Původní řešení je nedostatečné díky velké odezvě systému na požadavky obsluhy, a absenci automatického režimu ovládání. Z tohoto důvodu jsme v rámci diplomových prací přepracovali strukturu řízení celé laboratoře.

Nejprve se budu zabývat seznámením se všemi technologiemi potřebnými k provozu vodíkových článků, a se samotnými články. Poté je potřeba provést důkladnou analýzu stávajícího systému řízení. Vodíková laboratoř je součástí většího celku, který se skládá z pyrolyzní jednotky, elektrolyzérů, chladících okruhů, akumulací, fotovoltaických panelů, palivových článků, a dalších obslužných technologií. Z důvodu velké provázanosti celého systému, bude vhodné získat aspoň hrubou představu o způsobu řízení všech ostatních technologií.

Dále se v diplomové práci budu věnovat úpravě manuálního režimu řízení vodíkových článků a elektrolyzérů. Manuální režim je funkční, ale neobsahuje ovládání některých technologií, které byly přidány do vodíkové laboratoře po uvedení do provozu. Řízení v tomto režimu je potřeba vytvořit s ohledem na následný automatický provoz.

V rámci realizace mé diplomové práce se setkám se třemi různými průmyslovými sběrnici. Jedná se především o sběrnici Profibus DP, pomocí které jsou připojeny vzdálené periferie k řídicímu PLC. Dále musím pomocí převodníku integrovat do programu data ze systémů, které komunikují po sběrnici CAN a Modbus. Tento úkol ještě v řídicím systému nebyl řešen a je potřeba celou komunikaci navrhnout zcela od začátku.

Na závěr budu připravovat řídicí systém na komunikaci a ovládání z vizualizace a poskytování dat pro databázi. Pro tento úkol je nutné navrhnout vhodnou strukturu dat a způsob komunikace s vizualizací.

2 Analýza řízení laboratoře palivových článků

V této kapitole je řešeno hardwarové vybavení laboratoře. Dále jsou představeny všechny důležité části technologického vybavení laboratoře palivových článků. Především je kladen důraz na způsob řízení a funkci jednotlivých technologií v rámci laboratoře.

2.1 Jednotlivé části vodíkové laboratoře

Vodíková laboratoř se dá rozdělit na několik menších funkčních celků. Každý z nich je potřeba řídit z řídicího systému, popřípadě monitorovat jeho aktuální stav. Dále každá část poskytuje velké množství dat, která je potřeba přenést pomocí řídicího systému do databáze kde se budou dále tato data zpracovávat a analyzovat.

2.1.1 Palivové články

Z pohledu řízení se jedná o pasivní systém, neboť samy PC nemají žádné aktivní prvky. Jejich výkon je určen nastavením DC/DC měniče a schopností okolních systémů udržet napětí na výstupu článků.

Jedná se o 5 vodíkových palivových článků typu PEM Obr. 1 Palivové články. Tyto články využívají k oddělení anody a katody polymerní membránu. Pro správnou funkci membrány je potřeba ji udržovat vlhkou což je zajištěno zvlhčovačem, který rozprašuje vodu do přívodu vzduchu. Tyto články pracují při teplotě okolo 65 °C. Na membráně se sráží vlhkost což snižuje její účinnost, proto je také při běhu článku potřeba membránu očistit profouknutím článku vodíkem.



Obr. 1 Palivové články

V laboratoři se nachází 5 palivových článků, může být spuštěna jakákoliv kombinace palivových článků, počet článků, které jsou spuštěny je dán požadovaným výkonem.

Výrobcem článků je společnost Nedstack. Jedná se o významného výrobce palivových článků typu PEM. Už více jak 10 let tato společnost vyvíjí a prodává své palivové články a na světě existuje spousta aplikací těchto článků. [1]

Zkratka PEM znamená membrána s protonovou výměnou. Pro tento typ článku je typická pracovní teplota mezi 50 a 100 °C, a speciální protony propouštějící elektrolytickou membránou. [2]

Společnost Nedstack vyrábí PČ především pro automobily, a proto diagnostická jednotka, která je integrována v každém PČ komunikuje pomocí sběrnice CAN. Z této jednotky lze vyčíst velké množství dat. Aby nedošlo k zahlcení sběrnice jsou vyčítaná data konfigurovatelná.

2.1.2 Kompresory vzduchu

Pro každý článek je v laboratoři instalován jeden kompresor. Kompresor zajišťuje přívod zvlhčeného vzduchu do článku tím je ovlivněn výkon článku. Všechny pět kompresorů je řízeno jedním měničem. Toto zapojení způsobuje nutnost zastavit kompresory při změně konfigurace palivových článků.

Množství dodaného vzduchu je dáno otáčkami kompresoru. Otáčky kompresoru jsou řízeny měničem. Z řídicího systému jsou k měniči odesílány povely pro zapnutí a vypnutí a také je měniči posílána požadovaná hodnota výkonu v procentech. To umožňuje jednoduché použití jak manuálního nastavení požadovaných otáček, tak případnou pozdější realizaci regulátoru.

2.1.3 Zvlhčovač

Jedná se o kompresor, který je tlakován vodou, pneumatické ventily a pár trysek pro každý článek Obr. 2. Trysky jsou umístěny na potrubí přívodu vzduchu do článků. V každém páru je vždy jedna tryška větší a jedna menší. Na potrubí je také vlhkoměr, aby bylo možné správně řídit zvlhčování. Bohužel vlhkoměr je umístěn pouze jeden na potrubí pro palivový článek číslo 5. Tím je dáno že pokud je potřeba regulovat vlhkost vzduchu vstupujícího do PČ je nutné, aby pracoval palivový článek číslo 5 a dále je potřeba předpokládat, že všechny soustavy přívodu vzduchu jsou stejné, a pokud jsou ovlivněny stejně, jsou v nich stejné podmínky.

Tento fakt vnáší do řídicího systému nejistotu a jedná se o jeden z důvodů proč nelze vytvořit plně automatický režim.

Napájení zvlhčovače je spouštěno stykačem, který ovládá řídicí systém, který rovněž ovládá ventily přivádějící vodu k tryskám. Žádné senzory se v technologii zvlhčovače nenacházejí což je velký nedostatek z pohledu možnosti řízení.



Obr. 2 Kompresor zvlhčovače

2.1.4 Chlazení

Chlazení PČ je bohužel nešťastně řešeno v jiném PLC. Jedná se o vodní chlazení, kdy okruh PČ je oddělen, a přes výměník je energie předávána velkému vodnímu okruhu, který je chlazen centrální jednotkou, teplo z PČ je možné využít i v jiných technologiích jako zdroj energie nebo pro ohřátí.

Teplota je pro účinnost PČ důležitá. Pro nejlepší účinnost článků je potřeba udržet na vstupu teplotu kolem 60 °C a na výstupu teplotu o 5 °C větší. Pro možnost řízení teploty je na přívodu chladicí vody k výměníku umístěn trojcestný ventil a na vstupu i výstupu PČ je umístěn teploměr.

2.1.5 DC/DC měnič

Klíčová součást celého systému. Nastavením měniče nastavujeme zátěž pro článek a tím i výstupní výkon. Měnič obsahuje tři vstupní větve. Na každé větvi je realizováno měření proudu. Na výstupu je měřeno napětí a proud. Výstupní energie z měniče se může dále dodávat do baterií, elektrolýzy, nebo vnější napájecí sítě. Za následné využití energie je zodpovědný jiný řídicí systém.

Měniče jsou k PLC připojeny přes převodník Modbus/Profibus DP, komunikace s měničem je prováděna periodicky s periodou 200 ms. Měnič posílá do PLC indikaci svého stavu, chybové slovo, proudy jednotlivých větví měniče, výstupní proud a napětí a průtok chladiva. V chybovém slově se nalézá informace o případném špatném stavu jednotlivých tranzistorů měniče a chybě řídicího programu. Ve stavovém slově je indikován stav měniče, popřípadě jeho připravenost.

Měnič je řízen řídicím slovem, které obsahuje povely pro zapnutí a vypnutí měniče, případný reset chyb, a především požadovaný proud na výstupu z měniče.

Měniče je potřeba chladit, jedná o vodní chlazení. Měniče není potřeba udržovat na dané teplotě, je dán pouze horní teplotní limit, který nesmí být překročen. Pro chlazení měničů je potřeba žádat jiné PLC.

2.2 Hardware

Velká část řídicího systému v laboratoři je realizována pomocí produktů společnosti Siemens. Jedná se zejména o PLC, vzdálené periferie a komunikační moduly. Dále jsou v laboratoři zapojeny převodníky od společnosti ADFWeb, většinou pro rozhraní Modbus-Profibus DP, ale je zde i převodník pro CAN-Profibus.

Dokumentace pro fyzické zapojení vstupů a výstupů do řídicího systému byla k dispozici, ovšem bylo potřeba ověřit že odpovídá současnému stavu, popřípadě ji doplnit.

2.2.1 PLC

Pro řízení vodíkové laboratoře je instalováno PLC Siemens S7-400H. Označení H značí že se jedná o redundantní PLC.

CPU

Jak již bylo zmíněno jedná se o starší verzi PLC od firmy Siemens s označením S7-400H Obr. 3. Číslo produktu 6ES7 412-5HK06-0AB0 určuje přesný katalogový model. V tomto PLC je nahráný firmware ve verzi 6.0 a uživatelský program který bude popsán níže. Označení CPU je 412-5H.



Obr. 3 CPU 412-5H

Programovat toto CPU lze pouze pomocí programovacího prostředí Step 7 od firmy Siemens. Jedná se o dnes již nevyvíjené prostředí. V novějším vývojovém prostředí TIA Portal již není podpora pro toto CPU. Program Step 7 již sice není vyvíjen ovšem firma Siemens vyšla vstříc zákazníkům a v průběhu prací na mé diplomové práci vydala verzi 5.6, která umožňuje nainstalovat toto prostředí na operační systém Windows 10, což značně usnadňuje vývoj řídicího algoritmu pro toto CPU.

CPU je zálohováno pomocí baterií, takže při ztrátě napájení není ztracen program. Paměť má velikost 1 Mbyte a je rozšiřitelná pomocí FLASH paměťové karty o maximální velikosti 64 Mbyte. Maximální počet datových bloků je 6000, maximální počet funkčních bloků je 3000 stejně jako maximální počet uživatelských funkcí. PLC může mít až 4 bloky cyklických přerušení. V programu může být použito 2048 S7 časovačů a stejně tolik S7 čítačů, počet IEC časovačů a čítačů je omezen pouze pamětí RAM.

PLC má 2 komunikační rozhraní pro Profibus (RS485), v našem případě použito pro Profibus DP a 2 komunikační rozhraní pro Profinet, jedno z nich je v našem případě použito pro propojení CPU do vnitřní Ethernetové sítě, která je využita, jak pro komunikaci mezi CPU, tak pro programování a komunikaci s vizualizačním serverem. Celou specifikaci k PLC je možné nalézt na stránkách výrobce [3].

Napájecí zdroj

Jedná se o napájecí zdroj od firmy Siemens Obr. 4. Číslo produktu 6ES7 6ES7 407-0KA02-0AA0. Tento zdroj je určen pro PLC řady 400.



Obr. 4 Napájecí zdroj pro S7-400H

Zdroj je napájen napětím 230 nebo 120 V, dodává 5 V DC, maximálně 10 A a 24 V DC, maximálně 1 A. Celá specifikace je k nalezení na stránkách výrobce [4].

Redundantní systém

PLC má označení S7-400H, kde H značí redundantní systém. Jedná se o systém, který je odolný vůči poruše PLC. V rámci tohoto systému jsou nainstalovány 2 shodné PLC. Každé PLC má svůj napájecí zdroj a jsou navzájem propojeny optickým kabelem.

Redundantní systém funguje tak že jedno PLC provádí klasické řízení a druhé je připraveno k zastoupení prvního PLC v případě, že by v prvním PLC došlo k chybě. Nastavení redundantního systému probíhá v prostředí Step 7. Programování je obdobné jako u normálních systémů, při nahrání jednoho PLC se automaticky program překopíruje i do druhého PLC. [5] [6]

V redundantním systému je vždy jedno PLC master. Master se stará o řízení dané technologie. Přepínání funkce master mezi redundantními PLC je řešeno automaticky, uživatel ho může změnit v prostředí Step 7. [7]

2.2.2 Vzdálené periferie

Vzdálené periferie jsou k PLC připojeny pomocí průmyslové sběrnice Profibus DP. K PLC jsou připojeny 2 tyto sběrnice. Na jedné se nachází 6 zařízení typu slave a na druhé jsou 4 zařízení typu slave. Pro obě sběrnice existuje jenom jedno zařízení typu master, a to je PLC.

Modul ET200S

Jedná se o typ vzdálené periferie od firmy Siemens Obr. 5. Tato modulární periferie umožňuje připojit jak digitální, tak analogové vstupy a výstupy pomocí zásuvných modulů. V tomto případě je použito 5 těchto jednotek.



Obr. 5 Vzdálená periferie ET200S

Základem každé vzdálené periferie ET200S je komunikační modul. V jedné se o komunikační moduly pro Profibus DP. V katalogu Siemens má tento model označení 6ES7151-1AA05-0AB0, nebo novější typ 6ES7151-1CA00-0AB0. Podrobná dokumentace je k nalezení na stránkách výrobce [8] [9].

Jednotky jsou vhodně pojmenovány, aby jejich název reflektoval funkci a umístění v technologii. Následuje stručný výpis jednotek a seznam jejich zásuvných karet.

CU101

Periferie, která se nachází mimo laboratoř a stará se o snímání tlaků na potrubích které přivádějí plyny do laboratoře. Je připojena na profibus číslo 1, a má adresu 4.

Tab. 1 Přídavné karty pro CU101

Slot	Název	Objednací číslo	I adresa	Q adresa
1	PM-E DC24V	6ES7 138-4CA01-0AA0	-	-

2	4AI 2WIRE ST	6ES7 134-4GD00-0AB0	568...575	-
3	4AI 2WIRE ST	6ES7 134-4GD00-0AB0	576...583	-
4	4AI 2WIRE ST	6ES7 134-4GD00-0AB0	584...591	-
5	8DI DC24V	6ES7 131-4BF00-0AA0	2.0...2.7	-
6	8DI DC24V	6ES7 131-4BF00-0AA0	3.0...3.7	-
7	8DI DC24V	6ES7 131-4BF00-0AA0	4.0...4.7	-
8	8DI DC24V	6ES7 131-4BF00-0AA0	5.0...5.7	-
9	PM-E DC24V	6ES7 138-4CA01-0AA0	-	-
10	8DO DC24V/0.5A HF	6ES7 132-4BF00-0AB0	-	1.0...1.7

CU102

Periferie, která se nachází v laboratoři a stará se o snímání tlaků a průtoků kapalin a plynů v laboratoři, na vstupu do PČ. Je připojena na profibus číslo 1, a má adresu 3.

Tab. 2 Přídavné karty pro CU102

Slot	Název	Objednací číslo	I adresa	Q adresa
1	PM-E DC24V	6ES7 138-4CA01-0AA0	-	-
2	4AI 2WIRE ST	6ES7 134-4GD00-0AB0	512...519	-
3	4AI 2WIRE ST	6ES7 134-4GD00-0AB0	520...527	-
4	4AI 2WIRE ST	6ES7 134-4GD00-0AB0	528...535	-
5	4AI 2WIRE ST	6ES7 134-4GD00-0AB0	536...543	-
6	4AI 2WIRE ST	6ES7 134-4GD00-0AB0	544...551	-
7	4AI 2WIRE ST	6ES7 134-4GD00-0AB0	552...559	-
8	4AI 2WIRE ST	6ES7 134-4GD00-0AB0	560...567	-
9	8DI DC24V	6ES7 131-4BF00-0AA0	0.0...0.7	-
10	8DI DC24V	6ES7 131-4BF00-0AA0	1.0...1.7	-
11	PM-E DC24V	6ES7 138-4CA01-0AA0	-	-
12	8DO DC24V/0.5A HF	6ES7 132-4BF00-0AB0	-	0.0...0.7

+70BJS

Periferie, která se nachází vně laboratoře a ovládá stykače pro elektrické spojení laboratoře a ostatních technologií. Jedná se především o výstup z PČ a napájení jednotlivých technologií v laboratoři, a také napájení rozvaděčů v laboratoři. Je připojena na profibus číslo 1, a má adresu 6.

Tab. 3 Přídavné karty pro +70BJS

Slot	Název	Objednací číslo	I adresa	Q adresa
------	-------	-----------------	----------	----------

1	PM-E DC24V	6ES7 138-4CA01-0AA0	-	-
2	8DI DC24V	6ES7 131-4BF00-0AA0	50.0...50.7	-
3	8DI DC24V	6ES7 131-4BF00-0AA0	51.0...51.7	-
4	8DI DC24V	6ES7 131-4BF00-0AA0	52.0...52.7	-
5	8DI DC24V	6ES7 131-4BF00-0AA0	53.0...53.7	-
6	8DI DC24V	6ES7 131-4BF00-0AA0	54.0...54.7	-
7	8DI DC24V	6ES7 131-4BF00-0AA0	55.0...55.7	-
8	8DI DC24V	6ES7 131-4BF00-0AA0	56.0...56.7	-
9	8DI DC24V	6ES7 131-4BF00-0AA0	57.0...57.7	-
10	8DI DC24V	6ES7 131-4BF00-0AA0	58.0...58.7	-
11	8DO DC24V/0.5A HF	6ES7 132-4BF00-0AB0	-	17.0...17.7
12	8DO DC24V/0.5A HF	6ES7 132-4BF00-0AB0	-	18.0...18.7
13	8DO DC24V/0.5A HF	6ES7 132-4BF00-0AB0	-	19.0...19.7
14	8DO DC24V/0.5A HF	6ES7 132-4BF00-0AB0	-	20.0...20.7

+RMI

Periferie umístěná do rozvaděče v laboratoři, která se stará o ovládání technologií v laboratoři, například kompresory nebo zvlhčovače. Je připojena na profibus číslo 1, a má adresu 7.

Tab. 4 Přídavné karty pro +RMI

Slot	Název	Objednací číslo	I adresa	Q adresa
1	PM-E DC24V	6ES7 138-4CA01-0AA0	-	-
2	8DI DC24V	6ES7 131-4BF00-0AA0	49.0...49.7	-
3	8DO DC24V/0.5A HF	6ES7 132-4BF00-0AB0	-	15.0...15.7
4	2AI 2WIRE ST	6ES7 134-4GB01-0AB0	656...659	-
5	2AI 2WIRE ST	6ES7 134-4GB01-0AB0	660...663	-
6	2AI 2WIRE ST	6ES7 134-4GB01-0AB0	664...667	-
7	2AI 2WIRE ST	6ES7 134-4GB01-0AB0	668...671	-
8	2AI 2WIRE ST	6ES7 134-4GB01-0AB0	672...675	-
9	2AI 2WIRE ST	6ES7 134-4GB01-0AB0	676...679	-
10	2AO ST	6ES7 135-4GB01-0AB0	-	512...515
11	8DO DC24V/0.5A HF	6ES7 132-4BF00-0AB0	-	16.0...16.7
12	2AI 2WIRE ST	6ES7 134-4GB01-0AB0	680...683	-

RM1

Periferie využita pouze k načítání informací o dalších technologiích. Je připojena na profibus číslo 2, a má adresu 3.

Tab. 5 Přídavné karty pro RM1

Slot	Název	Order number	I adresa	Q adresa
1	PM-E DC24V	6ES7 138-4CA01-0AA0	-	-
2	8DI DC24V	6ES7 131-4BF00-0AA0	6.0...6.7	-
3	8DO DC24V/0.5A HF	6ES7 132-4BF00-0AB0	-	4.0...4.7
4	8DI DC24V	6ES7 131-4BF00-0AA0	7.0...7.7	-
5	8DI DC24V	6ES7 131-4BF00-0AA0	40.0...40.7	-

Festo CPV DI01

Jedná se o zařízení profibus slave od společnosti Festo. Pomocí této periferie se ovládají tlakové ventily, které jsou vně laboratoře a pomocí kterých se nastavuje cesta pro plyny vstupující do laboratoře, jedná se o Vodík a Dusík. Je připojena na profibus číslo 1, a má adresu 5, Obr. 6. [10]



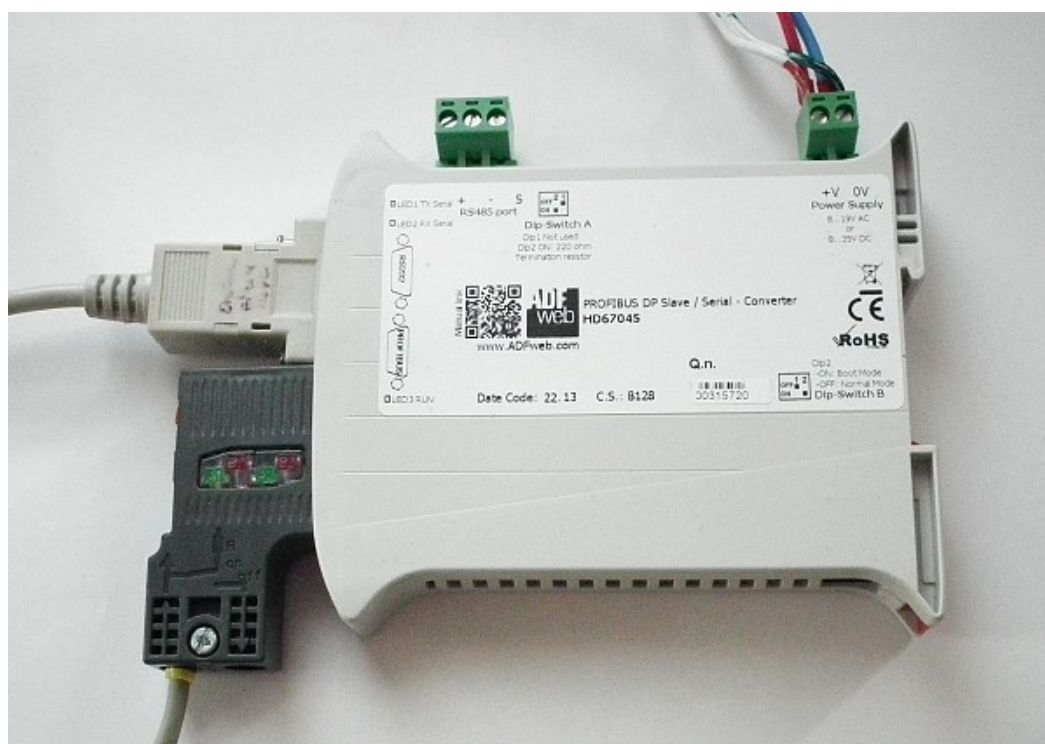
Obr. 6 Vzdálená periferie pro ovládání ventilů

Převodník-HD67045

Jedná se o převodník mezi sběrnicemi Profibus DP a RS232 nebo RS485. Na tento převodník je připojeno zařízení od společnosti DEGA Obr. 7, jedná se detektory plynu, které jsou vhodně rozmístěny po celé technologii. Převodník je připojen na profibus číslo 2, a má adresu 4 Obr. 8. [11]



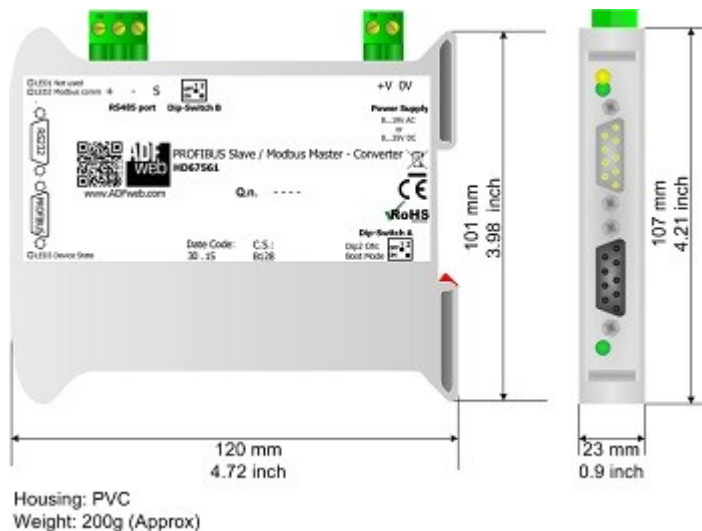
Obr. 7 Zařízení pro měření koncentrace plynů.



Obr. 8 HD67045

Převodník-HD67561

Jedná se o převodník mezi sběrnicemi Profibus DP a Modbus, tento převodník je v současné době nevyužit a je v systému připraven pro připojení další technologie. Převodník je připojen na profibus číslo 2, a má adresu 10 Obr. 9. [11]



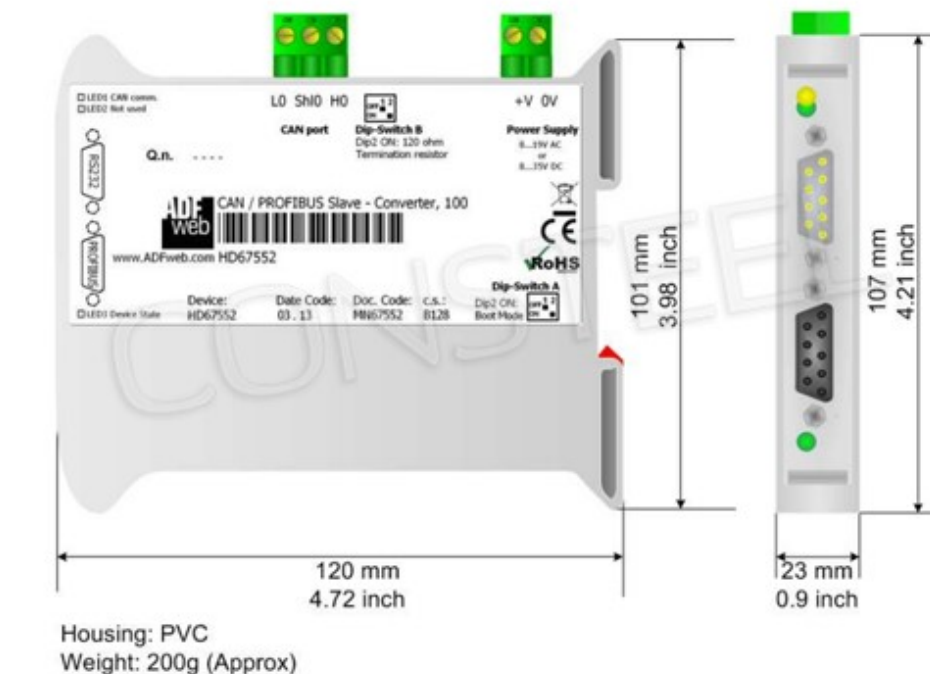
Obr. 9 HD67561

Převodník-HD67561_menice

Jedná se o převodník mezi sběrnicemi Profibus DP a Modbus, jedná se o převodník pro měniče, které komunikují po sběrnici Modbus. Převodník je připojen na profibus číslo 2, a má adresu 5. [11]

Převodník-HD67552

Převodník mezi sběrnicemi CAN a Profibus DP. Přes tento převodník jsou vyčítány data z měřících jednotek umístěných v palivových člancích. Tento převodník je umístěn na profibus číslo 1 a má adresu číslo 8. Obr. 10. [11]



Obr. 10 HD67552

2.2.3 Akční prvky

Většina akčních prvků se ovládá bitovými příkazy. Jedná se o stykače pro nastavování cesty toku elektrické energie. Dále pak pneumatické ventily pro čištění membrány PČ, a ventily technologie zvlhčovače. Dále je v systému několik pneumatických ventilů pro přívod plynů do laboratoře. V chladicím okruhu jsou oběhová čerpadla a trojcestné ventily.

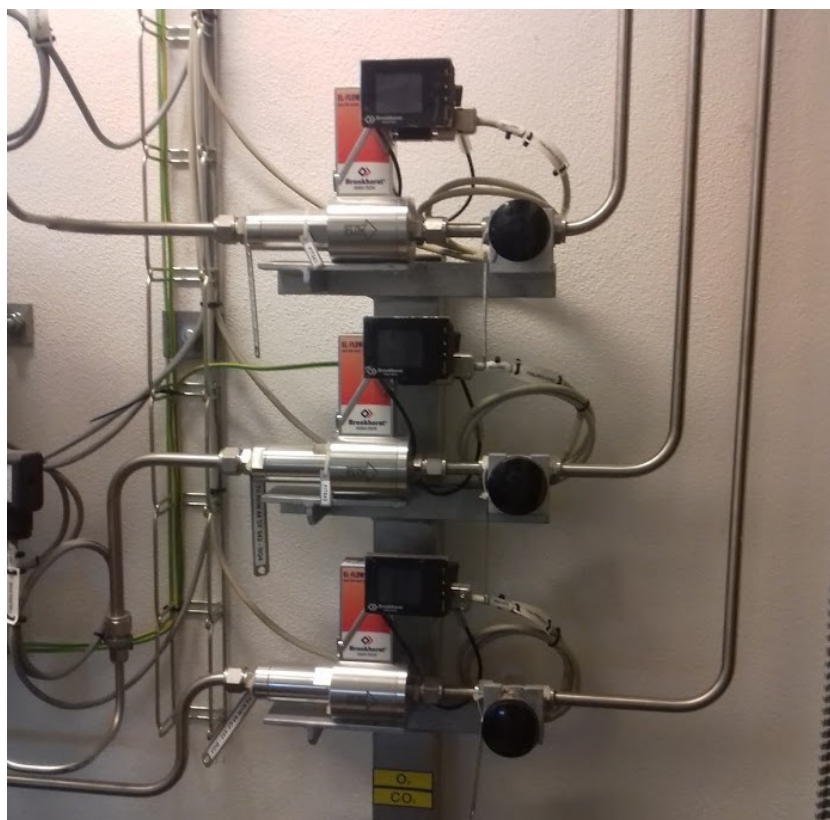
Analogové výstupy jsou v systému především pro nastavení měničů.

2.2.4 Senzory

Zdrojů informací je v technologii PČ více než akčních prvků.

Měření teploty probíhá na vstupu a výstupu z PČ, dále na dalších místech chladicího okruhu. Další teploty jsou měřeny na DC/DC měniči a na přívodu vzduchu do článků. V některých částech technologie je vlastní detekce přehřátí, která je do systému indikována jako bitová hodnota.

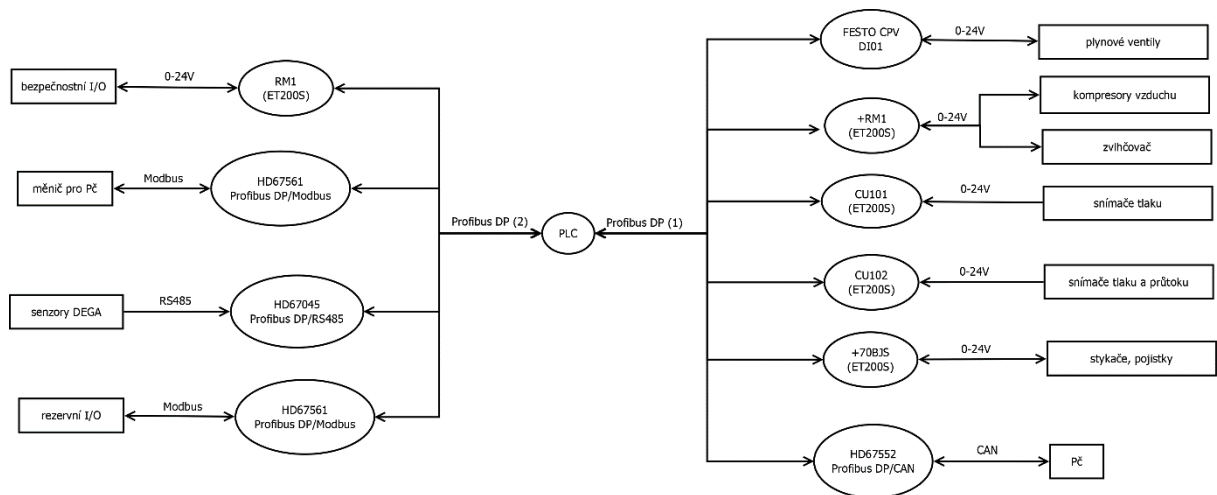
Na všech vstupech do PČ jsou také senzory průtoku. Ty jsou umístěny i na dalších klíčových místech, tak aby bylo možné počítat spotřebu vodíku i dalších médií Obr. 11.



Obr. 11 Senzory průtoku

V každém palivovém článku je umístěna měřicí jednotka, která provádí neustále měření napětí na všech článcích a vyhodnocuje tyto údaje, jednotka také měří teplotu a další doplňující údaje. Pomocí sběrnice CAN lze vyčítat předem nadefinovaná data. Bohužel vzhledem k množství dat nelze vyčítat všechna data která jednotka shromažďuje a je potřeba vybrat pouze potřebné informace. V našem případě se jedná především o průměrné napětí, které je v PLC přepočítáno na celkové napětí na výstupu palivového článku.

V celé technologii je umístěno ještě velké množství dalších akčních prvků. Zejména se jedná o bezpečnostní vypínače a přepínače které jsou použity pro ovládání režimů provozu. Hardwarové schéma technologických prvků a způsob komunikace je zobrazen na Obr. 12.



Obr. 12 Schéma komunikace jednotlivých HW prvků

3 Analýza provozu laboratoře v manuálním režimu

PLC zajišťující řízení vodíkové laboratoře je ve struktuře řízení označováno jako FoPa (Fotovoltaika Palivové články), tento název je dán tím, že PLC mělo zajišťovat kromě PČ také technologii fotovoltaiických panelů. Celá technologie fotovoltaiiky byla přesunuta na oddělený systém. Bohužel nebyly z PLC odstraněny bloky, které tuto technologii řídily.

Vodíková laboratoř není navržena jako plně automatický systém, a proto obsahuje jen malé množství akčních členů. Na řídicí systém je připojeno především velké množství senzorů, které umožňují monitorování dějů a dále spínání stykačů, které zajišťují připojení napájení.

3.1 Analýza stavu PLC a jeho programu

Manuálním režimem je myšleno ovládání jednotlivých akčních prvků povely, s indikací jejich stavu, popřípadě vyčítání a nastavování analogových hodnot.

3.1.1 Vnitřní čas v PLC

PLC má svůj vnitřní časovač, který není zcela přesný odchylka je asi 4 s/den, tuto hodnotu jsme experimentálně změřili.

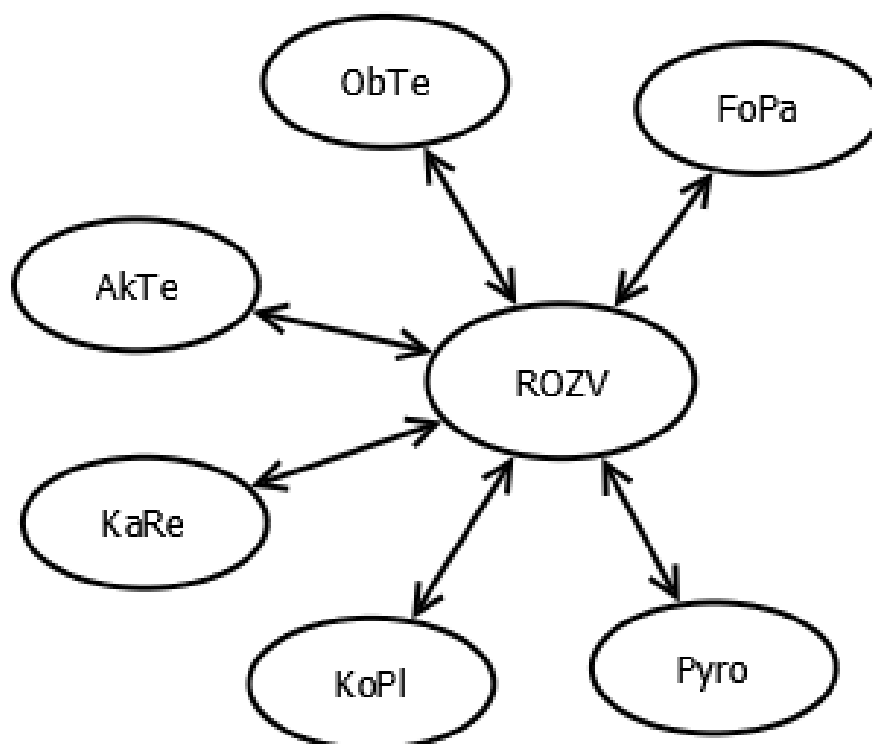
3.1.2 Popis programu v PLC

V PLC již existoval program pro ovládání části technologie, ovšem jednalo se o nedodělané kusy kódu, které mnohdy nefungovaly. Dále bylo v PLC vytvořeno velké množství paměťových bloků, ale většina jejich obsahu byla nevyužita. Celé paměťové bloky se posílaly mezi PLC což způsobovalo velké časové zpoždění.

Program byl realizován jak v jazyce STL, tak v jazyce FBD, a především části kódu v jazyce STL byly velice nepřehledné a často nefunkční.

3.2 Výměna dat s jinými technologiemi

PLC komunikovalo pouze s centrálním PLC a posílalo mu velké množství dat. Centrální PLC potom tyto data poskytovalo ostatním PLC Obr. 13. Tento systém kladl velké nároky na centrální PLC a způsoboval jeho velké zatížení a zpoždění v komunikaci.

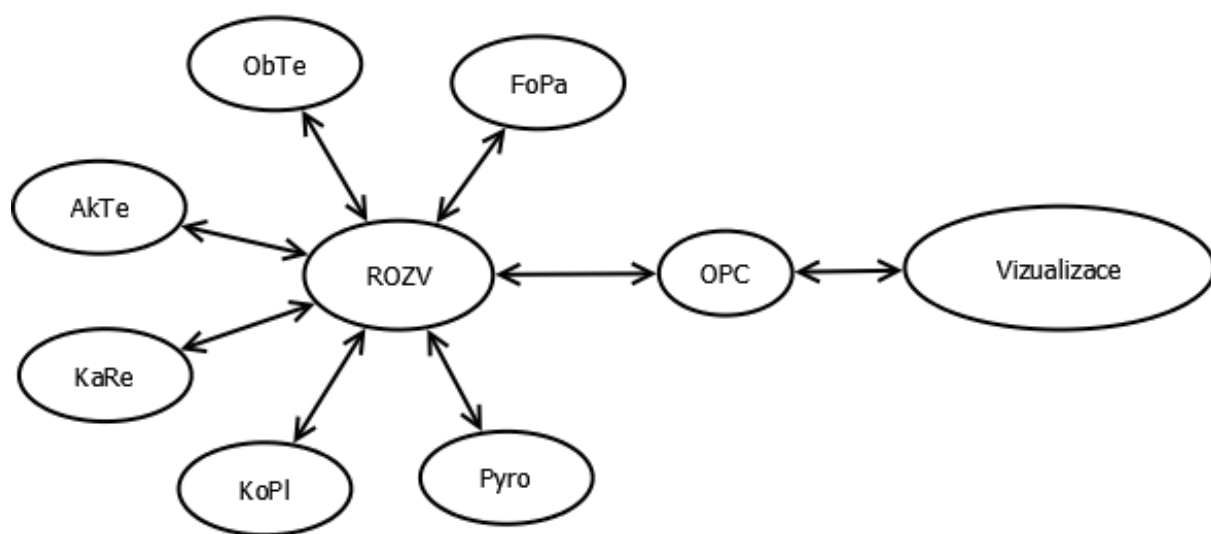


Obr. 13 Schéma původní komunikace mezi PLC

3.3 Propojení s vizualizací

Vizualizace byla připojena pomocí OPC serveru a komunikovala pouze s centrálním PLC. Toto PLC potom zajišťovalo komunikaci s jednotlivými technologickými PLC. Tento způsob komunikace byl velice neefektivní a způsoboval velké odezvy na povely z vizualizace. Do OPC serveru byly opět přenášeny celé datové bloky, které obsahovaly velké množství nepoužitých hodnot a tím zvedaly objem komunikovaných dat nad desítky kB.

Na Obr. 14 Lze vidět schéma původního zapojení. Na tomto obrázku je možné vidět, že zpoždění vznikalo na PLC ROZV a komunikaci s OPC serverem.



Obr. 14 Původní realizace komunikace mezi PLC a vizualizací

4 Analýza provozu laboratoře v automatickém režimu

Automatický režim provozu laboratoře je cílový stav provozu laboratoře. Výsledný režim by měl na svém vstupu přijímat žádost na dodaný výkon a měl by být schopen bez zásahu obsluhy tento výkon dodat pomocí PČ.

Laboratoř palivových článků má být součástí většího celku. Z tohoto důvodu byla snaha vytvořit z technologie PČ uzavřený funkční systém, na jehož vstupu by byl požadavek na výkon a výstupem by byl dodaný výkon a další diagnostické údaje.

Z důvodů níže popsaných bohužel nelze dosáhnout zcela automatického řízení, a je možné vytvořit pouze ucelené sekvence, které budou prováděny za asistence operátora.

4.1 HW pro automatický režim

Automatický režim nebyl v době vypracování práce realizován, ani neexistoval jakýkoliv návrh, jak by měl celý režim fungovat. Co se týče HW přípravy automatického režimu, byly v systému řízení k dispozici mechanické, uzamykatelné přepínače manuál/automat, které do systému vracely stav, ve kterém se nachází, ovšem na jejich informaci nenavazuje žádný další zásah. Dále jsou pro automatický režim připraveny kontrolky s indikací stavů.

4.2 SW pro automatický režim

V programu není připraven žádný algoritmus pro řešení automatického režimu, ani žádné menší systémové bloky řešící jednotlivé menší úlohy, které nejsou definované.

Při analýze automatického režimu bylo zjištěno že pro jeho plnou funkčnost není laboratoř osazena dostatečným množstvím senzorů a akčních prvků. Dále funkčnost některých technologií vyžaduje dohled obsluhy. Z těchto důvodů bylo po konzultaci s obsluhou laboratoře došel k rozhodnutí vytvořit sekvence které budou prováděny pod dohledem obsluhy. Tyto sekvence budou zajišťovat procesy potřebné pro zapnutí a vypnutí laboratoře a také řízení akčních zásahů při běhu laboratoře.

5 Realizace manuálního režimu

Manuální režim PC je důležitý zejména pro testovací provoz. Manuálním režimem je myšleno spínání veškerých akčních prvků pomocí přímých povelů z vizualizace. Pro zajištění bezpečného provozu může být omezeno provedení povelu na úrovni PLC, ale vždy musí být pomocí PLC vygenerována odpověď na povel.

Následuje přehled jednotlivých bloků, které byly použity pro manuální režim a jejich stručný popis.

Hlavní blok programu-OB1

Jedná se o hlavní blok celého programu, který je vykonáván při každém cyklu PLC.

V tomto bloku je zajištěno čtení systémového času, reset poruch a dále jsou zde volány všechny funkce které se mají vykonávat s každým cyklem.

Cyklický blok-OB32

Cyklický blok s periodou cyklu 1 sekunda.

V bloku se nachází volání funkce pro vyčítání diagnostických dat z prvků, které jsou připojeny na sběrnici profibus.

Tento blok je také využit jako počítadlo motohodin.

Chyba redundance-OB72

Blok pro ošetření chyby „Redundancy fault“. V tomto bloku je zaznamenáván stav, kdy nastala chyba redundance. Tento stav je zaznamenáván pro ladící účely

Chyba vstupů a výstupů-OB82

Blok pro ošetření chyby „I/O point fault“

Chyba nahrání bloku-OB85

Blok pro ošetření chyby „OB not loaded fault“

Ztráta racku-OB86

Blok pro ošetření chyby „Loss of rack fault“

Inicializační blok-OB100

Tento blok je vykonán jen jednou po startu PLC.

Blok obsahuje inicializaci paměťových buněk, které slouží jako bity log. 1 a log. 0, nastavení bitu informujícího o tom, že tento blok proběhl a k inicializaci komunikace se senzory DEGA.

Programová chyba-OB121

Blok pro ošetření chyby „Programming error“

Chyba modulu-OB122

Blok pro ošetření chyby „Module acces error“

DEGA-FB14

Funkční blok, který se stará o vyčítání dat z modulů DEGA. Vyčítání probíhá pomocí SFC14. Moduly DEGA jsou bezpečnostní čidla koncentrace plynů, informace z těchto modulů jsou poskytovány nadřazenému systému.

Čas-FB50

Blok pro zpracování systémového času procesoru. Vyčítá systémový čas a ukládá získané údaje do proměnných.

Komunikace-FB460

Funkční blok, který se stará o komunikaci PLC FoPA s PLC Rozvodna, tyto PLC mezi sebou potřebují posílat především informace z bezpečnostních plynových čidel. Komunikace je realizována pomocí industrial ethernetu a protokolu s7. V PLC se jedná o bloky BSEND(SFB12) a BRCV(SFB13), což jsou systémové bloky.

Samotná komunikace je z důvodu omezení velikosti dat použitých bloků rozdělena do několika částí, které jsou odesílány postupně, a jejich souslednost je zajištěna právě v tomto bloku. Samotná komunikace je asynchronní ale odeslání jednoho datového bloku může trvat několik programových cyklů.

Komunikace je implementována tak, že jednotlivé bloky jsou odesílány se zpožděním 400 ms v obou směrech. Blok pro příjem je neustále připraven přijímat data. Teoreticky by měla tato konstrukce zajistit odesílání dat s periodou 400ms, problémem je zahlcení PLC Rozvodna, s kterým tímto způsobem komunikují i další technologie, a to způsobuje jeho zpomalení a tím i zpomalení celé komunikace.

Čtení diagnostiky modulů-FC50

Funkce je volána v OB32, a stará se o cyklické vyčítání diagnostických dat z modulů připojených na profibus a ukládání těchto dat do datového bloku.

Zpracování diagnostiky modulu-FC80

Tento blok zajišťuje zpracování dat z diagnostiky profibus modulů a jejich uložení.

Stykače-FC90

Funkce, která je spouštěna v OB1 a stará se o signály z rozvodné skříně +70BJS.

Náplní tohoto programu je především spínání stykačů pro napájení dalších technologií v laboratoři a indikace jejich stavu. Dále funkce obsluhuje přepínače manuálního a ručního režimu které se nacházejí na dveřích skříně a k nim příslušné indikační kontrolky. V neposlední řadě funkce zajišťuje kontrolu pojistek starajících se o zabezpečení napájení a indikaci jejich stavu, jakožto i ukládání informace o připojení/nepřipojení profibus modulů do příslušných datových bloků.

Kompresory-FC91

Funkce je spouštěna v OB1 a obsluhuje signály z rozvaděče RM1.

V této funkci je implementováno ovládání 5 motorů, které jsou v laboratoři a jejich jednoho měniče který se stará o řízení těchto motorů. Jedná se především o kontrolu stavu jednotlivých motorů a měniče a také jejich zapínání nebo vypínání.

Ventily zvlhčovače-FC93

Tato funkce je volána v OB1 a zajišťuje obsluhu pro ventily které jsou v technologii vodíkové laboratoře.

Pro každý ventil z technologie je v této funkci přítomno 10 networků. Networkem se rozumí jeden programový blok, tak jak je rozděluje programovací prostředí Step 7.

V prvním networku je řešeno přepínání bitu indikujícího, zda se jedná o místní nebo automatický/manuální režim, a to tak že pokud není nastaven režim automat nebo manuál tak je automaticky ventil převeden do režimu místně.

Ve druhém je pak podle povelu, které přicházejí z nadřazeného řídicího systému (DB163) přepínáno mezi jednotlivými stavy ručně, automat a místně a tyto stavy se ukládají do DB160 kde slouží k informaci pro NŘS. Dále se tyto stavy ukládají i do pomocného bloku DB5, kde jsou k dispozici zbytku programu.

Třetí network zajišťuje že pomocná proměnná ventil otevřen ručně (OtRucne) je sepnuta, pokud je aktivní povel otevřít a zároveň je ventil ve stavu ručního ovládání, pokud toto není splněno tento pomocný bit je negován.

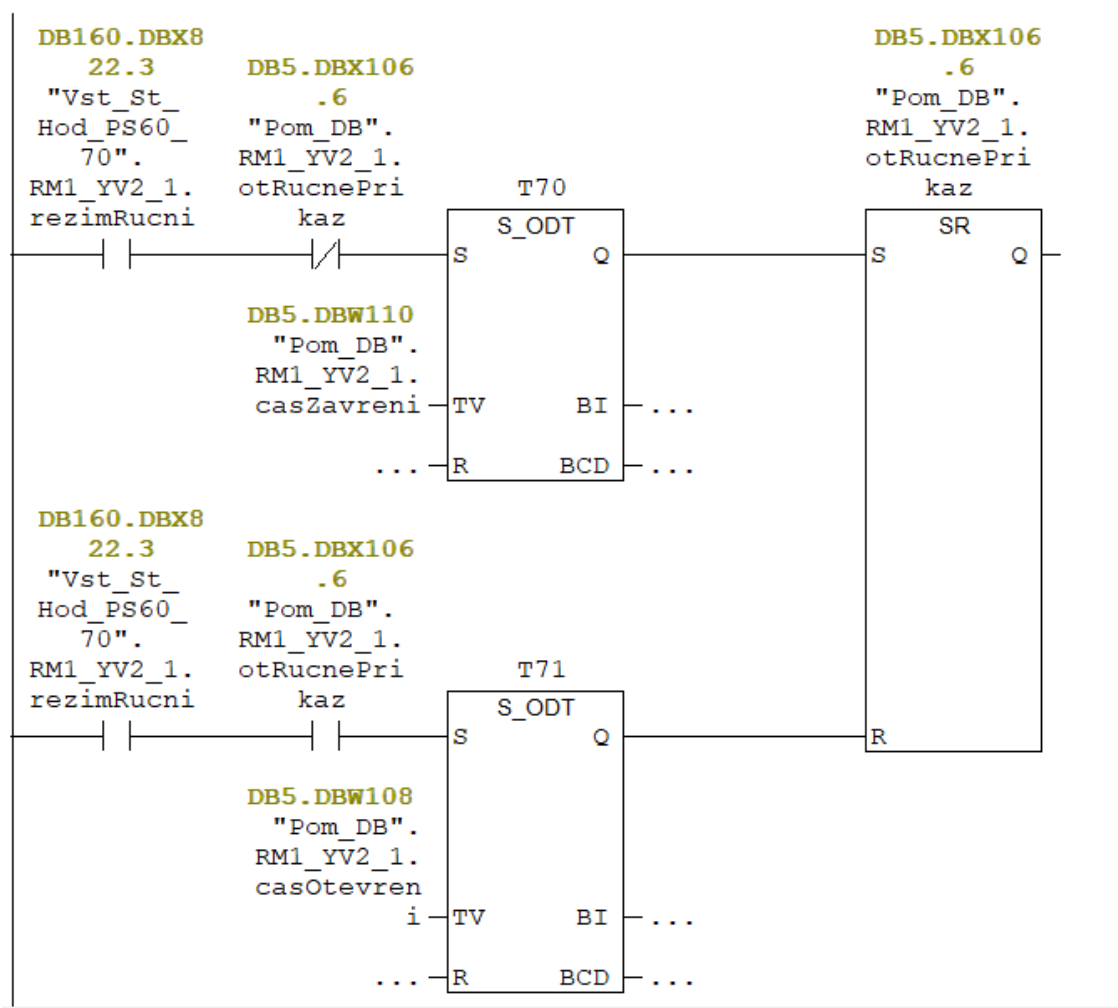
Čtvrtý network je velice podobný třetímu, jen je pro proměnnou OtMistne, zajišťuje tedy nastavení proměnné pro místní otevření za předpokladu, že byl vyslán povel pro otevření a je nastaven místní režim.

Pátý network se stará o nastavení výstupu, podle několika podmínek. Pokud je nastaven automatický režim ventilů a je nastaven bit pro otevření v režimu automat (OtAut), je ventil otevřen. Další možnost, jak lze ventil otevřít je že je ve stavu manuálního režimu a je nastaven pomocný bit OtRuc. Poslední možností, jak dosáhnout otevření ventilu je mít nastavený pomocný bit OtMistne a stav místně. Po splnění jedné z těchto tří podmínek je ventil otevřen, ovšem jenom pokud je tato podmínka splněna, pokud se změní stav některého z bitů je okamžitě zrušen povel pro otevření a je automaticky nahrazen povel pro zavření

Šestý network zajišťuje zpětnou indikaci o stavu ventilu. Bohužel ventil neposkytuje řídicímu systému zpětnou vazbu o svém stavu, a proto musí PLC odvozovat stav ventilu podle nastavení výstupů a předpokládat že ventily nemají poruchu.

Sedmý a osmý network zajišťují převedení hodnoty typu real která značí požadovaný čas zavření, popřípadě otevření ventilu na typ S5Time.

Devátý network zajišťuje periodické otevírání ventilu v ručním režimu podle nastaveného času otevření a zavření. Jedná se o dva časovače, které cyklicky nastavují a resetují stav příkazu pro ruční otevření. Na Obr. 15 je možné vidět kód řešící tento problém. Při realizaci byly použity dva časovače S_ODT, jedná se o časovač, který na výstupu nastaví log 1 pokud je na vstupu log 1 a uběhne nastavený čas.



Obr. 15 Kód pro zajištění cyklického otevírání ventilu dle zvolených časů.

Desátý network se stará o reset povelů z vizualizace.

Měníč PČ-FC94

Jedná se o funkci, která zajišťuje komunikaci s DC/DC měničem zatěžujícím články. Tento měnič je připojen přes převodník Modbus/Profibus DP. Funkce měniče a možnosti komunikace s ním jsou popsány v kapitole 2.1.5. Tato funkce zajišťuje komunikaci a také rozložení chybového stavového slova. Dále skládá slovo, kterým se posílají povelů na měnič. Veškerá užitečná data funkce ukládá do paměťového bloku.

Kohouty-FC109

Tato funkce je volána v OB1 a zajišťuje obsluhu pro kohouty které jsou v technologii vodíkové laboratoře.

Pro každý kohout z technologie je v této funkci přítomno 10 networků.

V prvním networku je řešeno přepínání bitu indikujícího, zda se jedná o místní nebo automatický/manuální režim, a to tak že pokud není nastaven režim automat nebo manuál tak je automaticky kohout převeden do režimu místně.

Ve druhém je pak podle povelu, které přicházejí z nadřazeného řídicího systému (DB163) přepínáno mezi jednotlivými stavy ručně, automat a místně a tyto stavy se ukládají do DB160 kde slouží k informaci pro NŘS.

Třetí network zajišťuje že pomocná proměnná kohout otevřen ručně (OtRuc) je sepnuta, pokud je aktivní povel otevřít a zároveň je kohout ve stavu manuálního ovládání, pokud toto není splněno tento pomocný bit je negován.

Čtvrtý network se stará o nastavení řídicí proměnné podle několika podmínek. Pokud je nastaven automatický režim kohoutu nastaven jako automatický a re nastaven pomocný bit kohout otevřen automat (OtAut) a není na tomto kohoutu indikována sumární porucha je kohout otevřen. Další možnost, jak lze kohout otevřít je že je ve stavu manuálního režimu, je nastaven pomocný bit OtRuc a není indikována sumární porucha. Poslední možností, jak dosáhnout otevření kohoutu je mít nastavený pomocný bit OtRuc a stav místně. Po splnění jedné z těchto tří podmínek je kohout otevřen, ovšem jenom pokud je tato podmínka splněna, pokud se změní stav některého z bitů je kohout opět zavřen.

Pátý network zajišťuje ošetření případu, kdy by došlo k zaseknutí kohoutu při jeho otvírání, a to tak že pokud je nastaven řídicí bit kohoutu kohout neindikuje, že je otevřen a není nastaven režim místně je spuštěn časovač na 30 s a po uplynutí této doby je nastaven v DB160 bit pro uplynutí času otevření pro daný kohout. Tento bit lze resetovat sepnutím bitu M100.0 což je obecný reset.

Šestý network je obdobou pátého jen s tím rozdílem že se jedná o zavírání kohoutu a je nastavován bit pro uplynutí času zavření.

Sedmý network zajišťuje uložení informace o poruše koncového čidla do DB160 a to tak, že pokud jsou nastaveny bity indikující pozici kohoutu otevřeno a zavřeno současně je nastaven bit PorKon. Tento bit je opět možné resetovat bitem M100.0.

Osmý network se stará o nastavení bitu pro sumární poruchu, a to tak že tento bit je aktivní, pokud je aktivní jeden z bitů indikujících uplynutí doby pro zavření/otevření nebo poruchu koncového čidla.

Devátý network obsahuje uložení stavu otevřen/zavřen do DB160 podle vstupů indikujících stav kohoutu.

Desátý network se stará o reset povelů v DB160, které přicházejí od NŘS.

Analýza dat z modulu DEGA-FC110

Tato funkce je spouštěna z OB1 a stará se o vyčítání dat z modulů DEGA. Jedná se o senzory na měření různých plynů po celé technologii. Vyčtené hodnoty jsou ukládány do bloku DB160, při komunikaci je použito i několik bytů bloku DB5 pro ukládání pomocných proměnných komunikace.

Kontrola chyb analogových vstupů-FC114

Tato funkce je volána v OB1 a zajišťuje pro čtení každé analogové hodnoty kontrolu, zda funkce SCALE, která se používá pro úpravu získané hodnoty není v chybě. Pokud kterákoli funkce SCALE indikuje chybu tato funkce nastaví odpovídající bit v DB162.

Funkce pro analogové vstupy-FC205

Jedná se o systémovou funkci SCALE, která je obvykle v bloku FC105, v tomto případě byl tento blok při tvorbě funkce již vytvořen, a proto si tato funkce vzala jiné číslo bloku.

Funkce SCALE přepočítává hodnotu z AD převodníku, který je na analogovém vstupu. Výstupní hodnota je obvykle v rozsahu 0 až 65635 nebo odpovídající bipolární hodnota a funkce SCALE tuto hodnotu přepočítá do námi zvoleného rozsahu.

Funkce pro analogové výstupy-FC206

Jedná se o opačnou funkci k funkci SCALE popsané výše, tedy o funkci UNSCALE.

Čtení analogových hodnot-FC210

Tato funkce je volána z OB1 a v této funkci probíhá čtení analogových vstupů a jejich SCALE na zvolený rozsah, výsledná hodnota je ukládána do DB160. Rozsah je možné volit a zadávat z vizualizace.

Zápis analogových hodnot-FC212

Tato funkce se stará o analogové výstupy. Jedná se o nastavení tlaku zvlhčovače a analogový výstup pro měniče motorů (G1). Ve funkci je funkce UNSCALE, která upravuje hodnotu pro DA převodník na výstupu analogové výstupní karty a případná chyba je uložena do pomocného bloku DB5.

Komunikace-FC460

Jedná se o funkci zajišťující komunikaci s NŘS. Tato funkce je volána v FB460.

Pomocná paměť-DB5

Jedná se o pomocný blok, do kterého si všechny funkce ukládají pomocná data. Tyto data není potřeba odesílat na NŘS.

Hodnoty-DB160

Datový blok, který má v sobě uchovány všechny data potřebná pro NŘS, které jsou buď vyčteny z technologie, nebo vycházejí z programu, data v tomto datovém bloku jsou vyčítány NŘS.

Parametry-DB161

Datový blok, který obsahuje vstupní parametry pro program. V tomto datovém bloku se například nacházejí rozsahy pro parametry SCALE. Tento datový blok je z PLC jen čten a plněn je ze strany NŘS.

Poruchy-DB162

Datový blok obsahující případně informace o poruchách. K tomuto datovému bloku přistupuje i NŘS.

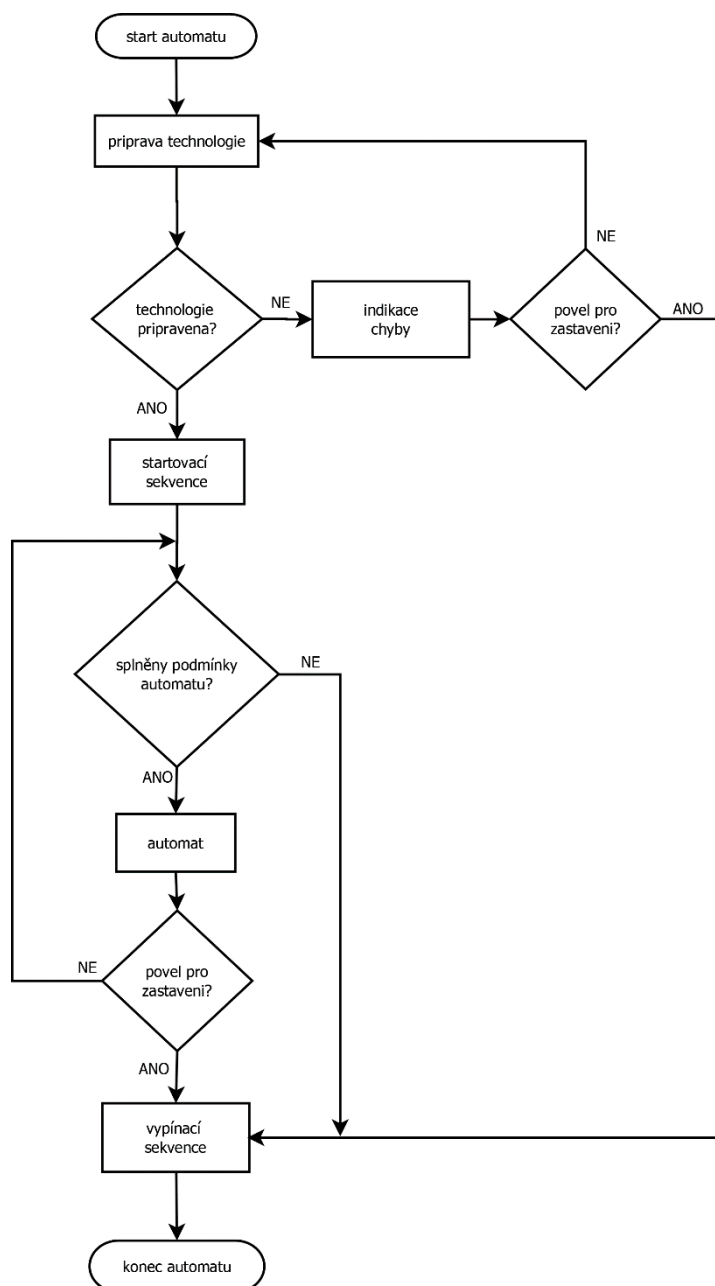
Povely-DB163

V tomto datovém bloku jsou povely, kterými může NŘS ovlivňovat chování řídicího programu. Tento blok je měněn v NŘS.

6 Návrh a realizace automatického režimu

Automatický režim byl navržen ve spolupráci s tvůrci a uživateli laboratoře. Při návrhu byla funkčnost automatického režimu rozdělena na menší celky, které by se daly naprogramovat a otestovat odděleně a následně byly tyto celky spojeny. Z návrhu automatického režimu vyplynulo velké množství problému, způsobených nevhodným návrhem systému. Vstupy a výstupy pomocí kterých se měl automatický režim realizovat byly bohužel připojeny na různá PLC v rámci více technologií, a proto bylo potřeba vytvořit spolehlivou a rychlou komunikaci mezi více PLC.

Návrh funkce automatického režimu byl zanesen do vývojového diagramu viz Obr. 16.

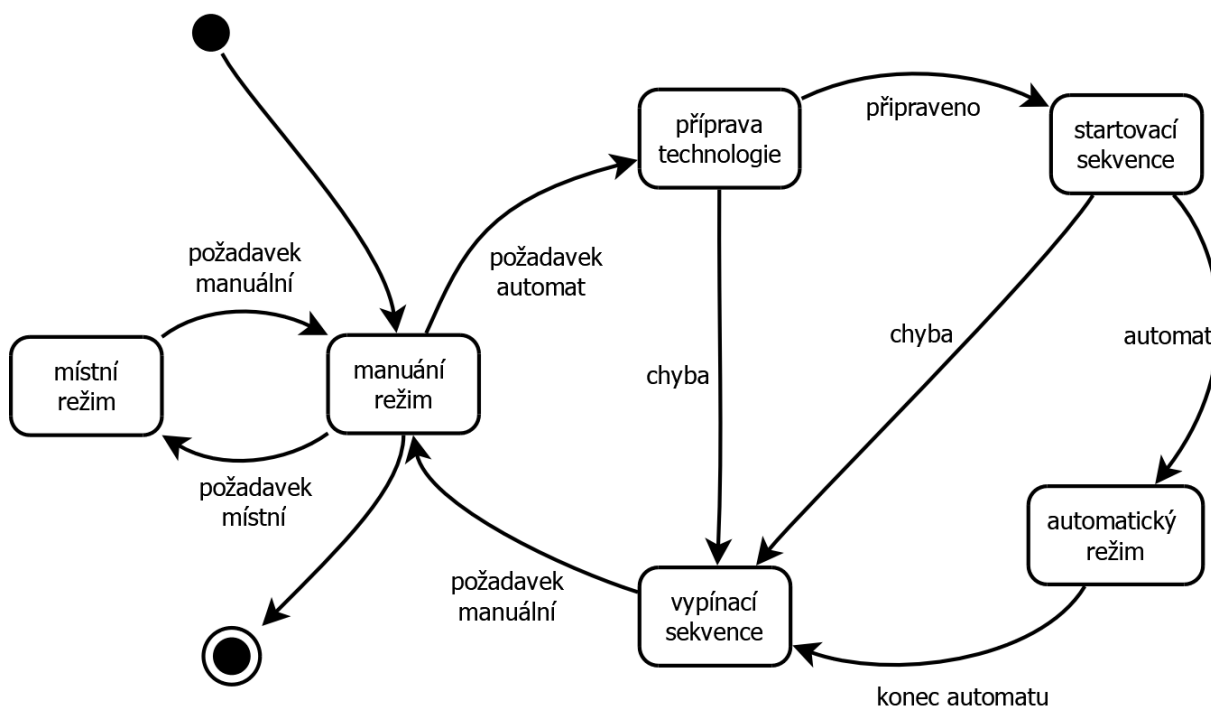


Obr. 16 Vývojový diagram pro režim automat

6.1 Přepínání režimů

V řídicím systému jsou zavedeny 3 režimy. Jedná se o režimy místní, ruční a automat. Většina technologií se dá přepnout do jednoho z těchto režimů, některé však obsahují pouze režimy automat a ruční, podle určení. V systému jsou režimy zavedeny jak na globální úrovni, tak na úrovni jednotlivých částí technologie a jejich přepínání a vztahu jsou popsány níže v této kapitole.

Na Obr. 17 je možné vidět stavový diagram, který zachycuje přepínání výše zmíněných stavů.



Obr. 17 Stavový diagram zobrazující přepínání stavů

6.1.1 Místní

Jedná se o režim určený k provádění servisu. Program v PLC zajišťuje že pokud je kterákoliv část technologie v tomto režimu nelze zapnout režim automat a stejně tak, pokud běží režim automat a kdekoliv je požadován režim místní, je globální režim přepnut na ruční.

6.1.2 Automat

Režim, který je určen k řízení provozu PČ pod dohledem obsluhy.

6.1.3 Ruční

Jedná se o režim, ve kterém bude technologie, pokud nebude v automatickém režimu a nebude potřeba provádět servisní zásahy. Vzhledem k využití laboratoře pro výzkum je často potřeba provádět manuální spouštění a řízení jednotlivých článků nebo jiných částí a tuto funkci bude zajišťovat právě tento režim.

6.2 Globální podmínky pro běh automatu

Při návrhu realizace vyplynul požadavek na soubor podmínek, které budou neustále monitorovány a při jejich splnění bude okamžitě automat ukončen. Tyto podmínky byly vytvořeny společně s obsluhou laboratoře.

6.3 Návrh a realizace komunikace mezi PLC

Pro správnou funkci PČ je potřeba udržovat jejich teplotu na dané hodnotě. Proto je potřeba v chladícím okruhu realizovat regulátor, který zajistí udržení PČ na požadované teplotě. Pro funkci regulátoru je potřeba předat PLC, které zajišťuje chlazení, informaci, kolik článků pracuje. Obe PLC jsou typu S7-400 a jsou zapojeny do vnitřní sítě. Pro komunikaci mezi těmito CPU byly zvoleny bloky PUT/GET, které využívají protokolu S7.

Aby tato komunikace mohla fungovat musí být vytvořeno spojení S7. Toto spojení nemusí být nadefinováno na obou komunikujících CPU, neboť využívá principu server-klient. Podrobněji je komunikace popsána v kapitole 7.1.

6.3.1 Zajištění komunikace

Je důležité, aby chlazení fungovalo správně pokud jsou PČ v chodu, jinak by mohlo dojít k velkým materiálním ztrátám. Proto je implementováno do komunikace slovo života. Jedná se o šestnáctibitovou hodnotu typu integer, která je v intervalu 100ms vždy zvětšena o jedničku. Pokud hodnota dosáhne maxima tak přeteče a načítá opět od minima. Toto je na straně chlazení. Na straně řízení palivových článků je v PLC udělána kontrola. Tato kontrola vygeneruje chybu, která zastaví PČ, pokud se hodnota slova života nezmění delší dobu než 2 s. Tento princip zajistí dodatečnou kontrolu komunikace a umožní vypnout PČ, pokud není zajištěno chlazení.

6.4 Nastavení komunikace s PČ

Každý PČ se skládá z několika samostatných článků. V mém případě je v jednom PČ 64 samostatných článků. 4lánky jsou zapojeny do série. Na každém článku probíhá měření napětí. Články jsou sdruženy do skupin po 4. V PČ se nachází měřící jednotka, která neustále měří napětí na jednotlivých člancích, teplotu PČ a další parametry článku. Vzhledem k velkému počtu dat tato jednotka neposílá všechny měřená data, ale s nadefinovaným cyklem odesílá předem uživatelem nadefinovaný rámec obsahující jen žadaná data.

6.4.1 Konfigurace PČ

Před samotným připojením PČ na sběrnici CAN je potřeba nakonfigurovat NN („node number“) daného palivového článku, respektive měřící jednotky. Aby toto bylo možné je potřeba spojit přímo převodník profibus/CAN s palivovým článkem, který chceme nastavit. Dále je potřeba poslat řetězec, který má 3 byty. První byte je nulový, druhý označuje funkci a má hodnotu hexadecimální 10 a třetí byte obsahuje hexadecimální číslo, které má být použito jako NN.

Po tomto nastavení je ještě potřeba nakonfigurovat v měřicí jednotce počet článků. Tato konfigurace se již může provádět po připojení na CANu. Pro nakonfigurování je potřeba poslat řetězec, který má 7 bytů. Další složení zprávy je vidět v Tab. 6.

Tab. 6 Správa pro nastavení měřicí jednotky.

ID	kód funkce	data1	data2	data3	data4	data5
600+NN	01h	0	40h	0	4	0

V buňce data2 se nachází hexadecimální číslo reprezentující počet článků, v našem případě je článků 64. V buňce data4 je informace kolikrát za sekundu se mají posílat měřená data. Tuto hodnotu je potřeba vhodně zvolit podle počtu prvků na sběrnici CAN, tak aby nedošlo k zahlcení sběrnice.

6.4.2 Zpráva vyčítaná z PČ

Po nakonfigurování PČ výše zmíněným postupem je z PČ cyklicky odesílána zpráva, která obsahuje informace o PČ. Obsah této zprávy má 7 bytů a je popsán v Tab. 7.

Tab. 7 Zpráva z PČ

11 - bit ID	datová část								
180+NN	byte	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
	0					nejnižší hodnota napětí			
	1	nejnižší hodnota napětí							
	2	číslo článku s nejnižší hodnotou napětí							
	3					nejvyšší hodnota napětí			
	4	nejvyšší hodnota napětí							
	5	číslo článku s nejvyšší hodnotou napětí							
	6					průměrná hodnota napětí			
	7	průměrná hodnota napětí							

Jak jde vidět v Tab. 7 zpráva se skládá ze tří hodnot napětí. Každá hodnota napětí je reprezentována jedenáctibitovým číslem, které je uloženo ve formátu dvojkového doplňku. Dále je ve zprávě informace, o jaký článek se jedná v případě nejvyššího a nejnižšího napětí. Tyto informace se hodí z hlediska dlouhodobé diagnostiky. Pro řídicí systém je nejdůležitější poslední hodnota napětí. Pokud vynásobíme průměrnou hodnotu napětí počtem článků (64), dostaneme výsledné napětí, které je na výstupu z daného PČ. Tento údaj je důležitý pro řízení článku.

6.5 Diagnostika vzdálených periférií

Periferie jsou připojeny pomocí sběrnice Profibus. Motivací k diagnostice periférií byl především způsob zapojení některých částí technologie, kdy napájení rozvaděčů s perifériemi může být odpojeno od napájecí sítě. Tím může na senzorech periférií, které nejsou napájené vzniknout neznámý stav, nebo stav při kterém automatický režim vyhodnotí chybu a tím spustí poplach. K ošetření tohoto nežádoucího

stavu je proto nutné vyčítat data jen z těch periférií, které mají napájení a jejich komunikační modul indikuje normální stav, tyto údaje se nejlépe získají právě z diagnostických dat těchto modulů. [12]

6.5.1 Popis programu

Pro diagnostiku byl použit blok od firmy Siemens „DPNRM_DG SFC13“, který vyčítá veškerá diagnostická data, které jsou poskytována zařízením typu slave.

Vstupní hodnoty tohoto bloku jsou bitový požadavek na vyčtení diagnostických dat a adresa nakonfigurovaného zařízení pro které chceme vyčíst diagnostická data. Jediný problém při zadávání vstupních parametru je fakt že adresa diagnostikovaného zařízení musí být zadána jako číslo šestnáctkové soustavy, ale vyčítána je z HW konfigurace jako číslo desítkové soustavy.

Výstupy diagnostického bloku jsou návratová hodnota, diagnostický záznam a bitová informace, zda blok vyčítá diagnostická data.

Návratová hodnota obsahuje délku vyčtených dat, nebo kód chyby která nastala při vyčítání diagnostických dat. Jedná se o hodnotu typu integer.

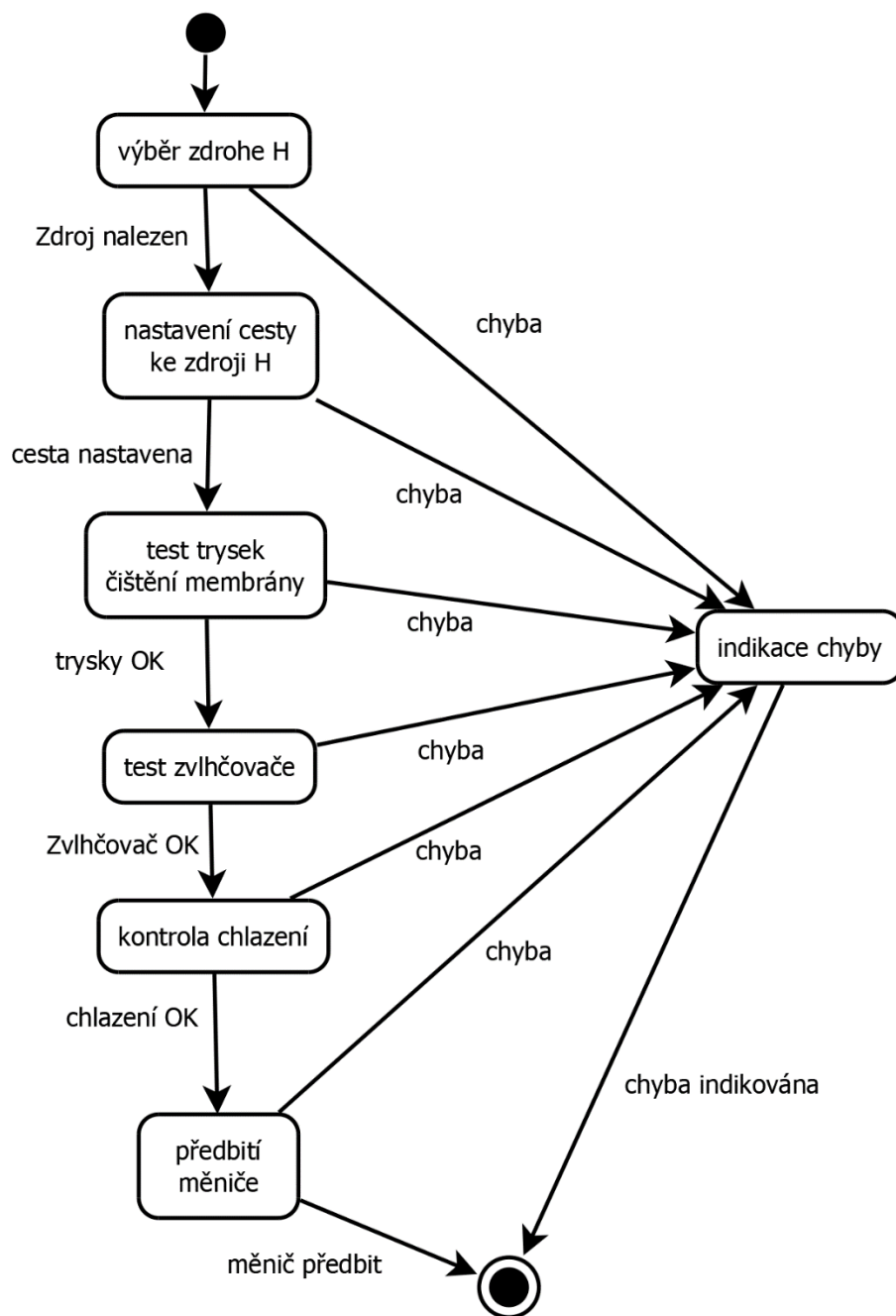
Diagnostický záznam má proměnnou velikost, která je závislá na množství vstupů a výstupů dané periferie a jejím typu. První 3 bajty obsahují informace o stavu vzdálené periferie, dále jsou 3 bajty obsahující identifikaci master zařízení a dvoubajtový identifikátor prodejce zařízení. Dále následuje nespecifikovaný počet bajtů obsahující informace o připojených modulech.

Z výše napsaného vyplývá že pro ověření napájení vzdálené periferie je klíčový obsah prvních tří bajtů diagnostické zprávy. Byl využit hned první bit, který má hodnotu LOG 1 pokud nelze adresovat modul, tato situace nastane v případě, že modul není napájen, nebo je přerušeno spojení mezi modulem a CPU, nebo byl na modul poslán požadavek restartu.

6.6 Zapínací sekvence

Tato sekvence bude realizována při zapínání automatického režimu a má za úkol pohlídat splnění podmínek nutných pro zapnutí technologie a dále připravit všechny potřebné části tak aby PČ mohly začít produkovat výkon.

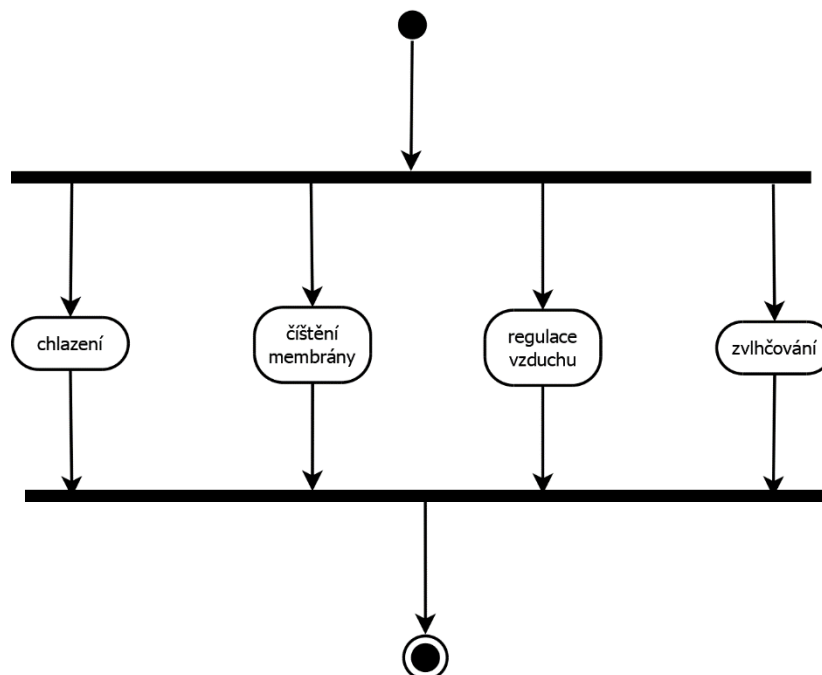
V rámci této sekvence bylo vytvořeno několik funkčních bloků, které na sebe navazují. Bloky zajistí výběr zdroje vodíku, nastavení cesty pro vodík, ověření funkce zvlhčovače a kompresorů vzduchu a ověření připravenosti měniče. Sekvence končí chybou, pokud je některá část technologie v místním režimu. Dále může tato sekvence skončit chybou, pokud nebudou splněny nastavené limity Obr. 18.



Obr. 18 Stavový diagram pro zapínací sekvenci

6.7 Automatický běh

Automatický režim je rozdělen do několika na sobě nezávislých částí kódu Obr. 19, pro které je společná vlastnost, že pokud se vyskytne při jejich vykonávání chyba, je okamžitě volána sekvence pro ukončení.

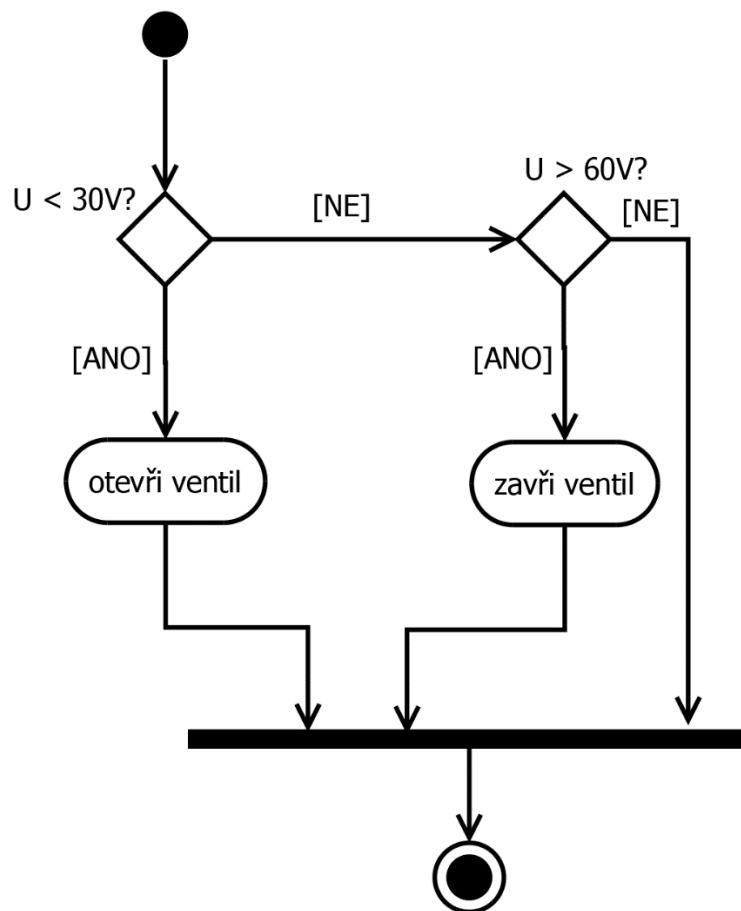


Obr. 19 Aktivitní diagram pro automatický běh

6.7.1 Čištění membrány článku

Při činnosti článku dochází k usazování vlhkosti na jeho membráně. Tím se snižuje účinnost článku, neboť se zmenšuje aktivní plocha membrány. Při úplném zneprůchodnění membrány může dojít k zničení článku, proto je potřeba aby řídicí algoritmus tomuto stavu zabránil. Stav membrány lze odvodit z napětí na daném článku, neboť společně se zanášením membrány klesá napětí.

Čištění membrány probíhá tak že se cyklicky kontroluje napětí na článku a pokud klesne pod nastavené minimum je otevřen ventil pro profouknutí článku vodíkem. Jedná se o 1 ventil pro celý palivový článek, proto se čištění provádí pro všech 64 článků v PČ najednou. Ventil zůstává otevřený, dokud napětí na PČ nestoupne na určenou mez. Algoritmus čištění membrány je na Obr. 20.



Obr. 20 Aktivitní diagram pro algoritmus čištění membrány

6.7.2 Zvlhčování vzduchu pro PČ

V systému je pouze 1 senzor vlhkosti, a to na PČ číslo 5, pro účely řízení se počítá s tím, že vlhkost je na všech potrubích k PČ stejná.

Zvlhčování probíhá cyklickým otevíráním ventilů přivádějících vodu na trysky. Doba otevření a zavření je nastavena jako parametr automatického režimu. Pokud se vlhkost dostane mimo nastavené limity je indikována chyba a automatický režim je vypnut.

6.7.3 Přívod vzduchu pro PČ

Měnič napájející kompresory palivových článků má nastavitelné otáčky. Otáčky jsou při startu nastaveny na zvolenou procentuální hodnotu a na ní jsou drženy. Pokud by byla hodnota zvolena špatně dojde k poklesu napětí na PČ a jiné funkce, které zajišťují kontrolu automatického režimu zajistí vypnutí.

6.8 Vypínací sekvence

Tato sekvence bude použita vždy když bude automat ukončen, ať už požadavkem obsluhy nebo požadavkem PLC. Sekvence musí být schopna za jakýchkoliv podmínek převést celý systém do bezpečného stavu a ukončit výrobu energie.

Jedná se především o zavření kohoutů pro přívod vodíku, vypnutí kompresoru vzduchu a odpojení měniče od PČ. Tato sekvence je řešena v jednom funkčním bloku.

6.9 Popis funkčních bloků realizujících automatický režim

Názvy vytvořených bloků pro automatický režim byly systematicky vytvořeny tak, aby se nemíchaly jinými bloky. Dále jsou funkční bloky číselně sdruženy do skupin podle svého účelu a funkce.

Automat-FC500

Funkce automatického režimu, která je volána z OB1 a jedná se o jediné přímé napojení na základní smyčku. V této funkci zajišťuje sekvenční volání jednotlivých FB pro automatický režim.

Vypočty-FC530

Funkce, která je vždy aktivní a zajišťuje výpočty, indikaci a vyhodnocení údajů potřebných pro více částí automatického režimu, nebo údajů které je potřeba, aby automatický režim kontroloval neustále.

Hlídaní minimálního tlaku H2 probíhá porovnáním tlaku v lahvích a požadovaného tlaku (načtený parametr), výsledek je uložen jako proměnná typu bool v DB500.

Kompresory-FC531

Funkce, která se snaží držet zapnuty všechny motory pro kompresory vzduchu a pokud je tato podmínka splněna je bit OK v log 1.

Příprava kohoutů-FC540

Funkce, která je zodpovědná za převedení kohoutů do režimu automat a hlídání, že v něm zůstanou. Výstupem je bit, který je v log 1, pokud jsou kohouty v automatu. Jedná se o jednu z podmínek pro běh automatu.

Příprava zvlhčovače-FC541

Převede ventily zvlhčovače do automatu a kontroluje, zda jsou v automatu přepínače na +70BJS. Funkce kontroluje každý prvek zvlášť a pokud je jen jeden z ventilů, nebo manuálních přepínačů v jiném režimu než automat, je indikována chyba.

Příprava vzduchu-FC542

Funkce, která se stará o převedení do automatu pro celou technologii vzduchu pro PČ. Pokud jsou v automatu tak je nastaven bit automat, pokud ne tak je nastaven bit chyba.

Zastavení plynů-FC545

Funkce pro zavření všech kohoutů starajících se o přívod plynů do laboratoře. Pokud je funkce aktivní a kohouty jsou v automatu tak vynucuje příkaz pro zavření kohoutů. Zavírání kohoutů může zabrat delší čas, proto je dobré počítat s časovým zpožděním až 2 minuty.

Výběr zdroje vodíku-FC550

Funkce, která je zodpovědná za výběr zdroje vodíku. Vstupy a výstupy funkce jsou zapsány v Tab. 8. Ve stejné tabulce je i stručný popis jejich významu, pokud má smysl.

Tab. 8 Vstupy a výstupy pro FC550

název	in/out	datový typ	popis
vyber	in	bool	požadavek na provedení vyberu
externi_s vazky	in	bool	zdroj budou externí svazky
tlak_A_ok	in	bool	
tlak_B_ok	in	bool	
tlak_C_ok	in	bool	
tlak_D_ok	in	bool	
tlak_A	in	real	tlak ve svazku A
tlak_B	in	real	tlak ve svazku B
svazek_A	out	bool	jako zdroj zvolen svazek A
svazek_B	out	bool	jako zdroj zvolen svazek B
svazek_externi	out	bool	jako zdroj zvoleny externí svazky
chyba	out	bool	nedostatečný tlak ve svazcích, nebo probíhá výběr
OK	out	bool	výběr proběhl korektně
reset_ok	out	bool	pokud je vyber v 1 tak je v true

Při náběžné hraně na vstupu „vyber“ se resetují všechny výstupy a vnitřní proměnné. Dále je spuštěna sekvence pro výběr zdroje vodíku. Tato sekvence nejprve načte hodnoty tlaků všech zdrojů vodíku a poté je porovná s nastavenými limity. Ze zdrojů vodíku, které splňují požadavky je následně vybrán zdroj s největším tlakem a ten je nastaven jako zvolený zdroj. Pokud je na vstupu funkce zvolen jako zdroj externí svazek, je v této funkci porovnána okamžitá hodnota tlaku v tomto svazku se zadanými limity a pokud je svazek splňuje je nastaven jako zdroj, a na výstupu je indikován bit „OK“

Pokud se funkci nepodaří nalézt vhodný zdroj vodíku je indikována chyba. Chybu lze resetovat pouze opětovným přivedením náběžné hrany na vstup „vyber“.

V době vypracování jsou k dispozici dva zdroje vodíku a externí připojení umožňující použití mobilního zdroje. Vnitřní program funkce je realizován s ohledem na možné rozšíření.

Nastavení cesty pro vodík-FB551

Funkce, která zajišťuje nastavení cesty pro vodík. Vstupem jsou 3 možné cesty a povel pro nastavení, výstup je potvrzení že cesta byla nastavena nebo informace o chybě. Blok je citlivý na náběžnou hranu bitu nastav, kdy vynuluje výstupy a pokusí se nastavit cestu, toto nastavení může trvat i několik desítek sekund v závislosti na rychlosti ustálení tlaku v potrubí a nastavení limitů pro toto ustálení. Při indikaci chyby se pokusí uzavřít všechny kohouty a vrátí se do původního stavu, chyba je indikována, pokud kohout indikuje sumární poruchu. Uzavírání kohoutů probíhá vnitřním voláním funkce k tomu určené.

Test senzorů průtoku-FB552

Blok pro kontrolu funkčnosti průtokových senzorů fit, pomocí ventilů pro čištění membrány PČ.

Tab. 9 Vstupy a výstupy pro FB552

název	in/out	datový typ	popis
cas	in	S5TIME	délka otevření při každém profouknutí
start	in	bool	při náběžné hraně je test započat
fit1	in	Real	
fit2	in	Real	
fit3	in	Real	
fit4	in	Real	
fit5	in	Real	
min_rozdil	in	Real	min. rozdíl v hodnotách průtoků při otevřeném/zavřeném ventilu
E_MODE	in	bool	efektivnější mód kdy čas profouknutí může být menší
ventil1	out	bool	
ventil2	out	bool	
ventil3	out	bool	
ventil4	out	bool	
ventil5	out	bool	
chyba	out	bool	
done	out	bool	

Na vstupu jsou hodnoty jednotlivých senzorů průtoků, dále bit start, který je citlivý na náběžnou hranu, tento bit umožňuje i restart celé sekvence. Čas je ve formátu S5TIME a jedná se o dobu otevření jednotlivých ventilů profuků. Min_rozdil je minimální rozdíl který musí být mezi původní a aktuální hodnotou průtoků, tak aby byl test prohlášen za úspěšný. E_MODE umožňuje při dosažení hranice úspěchu pokračovat na další senzor průtoků a profuk nemusí být otevřen celý nastavený čas, což vede k úspoře vodíku. Výstup je bitová hodnota otevření jednotlivých ventilů a informace o chybě a úspěšném testu, tyto hodnoty se resetují s náběžnou hranou na bitu start.

Zapínání-FC553

Zapne všechny motory kompresorů, připojí PČ na výstup z laboratoře a zapne zvlhčovač.

Test zvlhčovače-FB554

Blok slouží k otestování zvlhčovače a napětí naprázdno na PC.

Tab. 10 Vstupy a výstupy pro FB554

název	in/out	datový typ	popis
start	in	bool	reaguje na náběžnou hranu
stop	in	bool	při log 1 zastaví sekvenci a resetuje vnitřní stavy
menic_ready	in	bool	indikace připravenosti měniče
menic_error	in	bool	indikace chyby měniče
menic_run	in	bool	indikace běhu měniče
vlhkost	in	Real	hodnota vlhkosti v potrubí
vlhkost_nasobek	in	Real	minimální přípustný násobek hodnoty vlhkosti
napeti	in	Real	napětí na PČ
napeti_min	in	Real	minimální přípustné napětí na PČ

chyba	out	bool	chyba sekvence
done	out	bool	test proběhl správně
ventil1	out	bool	ventil zvlhčovače 1
ventil2	out	bool	ventil zvlhčovače 2
ventil3	out	bool	ventil zvlhčovače 3
ventil4	out	bool	ventil zvlhčovače 4
ventil5	out	bool	ventil zvlhčovače 5

Celá sekvence je zahájena náběžnou hranou na bitu start, poté je spuštěn měnič a čeká po vnitřně určenou časovou konstantu na ustálení vlhkosti. Poté se uloží vlhkost a otevřou se trysky zvlhčovače, a opět se čeká na ustálení vlhkosti. Po určeném čase se porovnají vlhkosti a pokud je nová vlhkost větší, než zadaný minimální násobek původní vlhkosti je test vyhodnocen jako splněný. Nakonec se porovná hodnota napětí na PČ a pokud je větší, než zadané minimum je nastaven bit done, čímž se sekvence ukončí. Při nastaveném bitu done nebo chyba jsou všechny povely nulovány.

7 Konfigurace provozního prostředí pro výměnu dat s ostatními instalovanými technologiemi a vizualizací

Tato kapitola se zabývá komunikací mezi řízením databází a vizualizací. Původní systém trpěl především velkými odezvami způsobenými taky zpožděním v komunikaci, a proto bylo třeba celý systém přepracovat. Komunikace s vizualizací a databází je z pohledu programu v PLC stejná. PLC komunikuje se serverovou částí vizualizace a ta zajišťuje ukládání dat do databáze a obsluhu klientských částí vizualizace.

7.1 CPU-CPU komunikace

Nejrychleji a nejspolehlivěji mezi sebou musí komunikovat jednotlivé CPU, které se podílejí na řízení PČ. Ideální pro řízení této technologie by bylo, kdyby bylo realizováno na jednom CPU. Bohužel to není možné, a proto bylo potřeba zajistit jejich komunikaci.

Původní komunikační struktura byla diagnostikována a bylo zjištěno, že je nevhodná, proto bylo nutno navrhnout zcela jiný systém komunikace mezi CPU. Zvolena byla komunikace pomocí Profinetu a protokolu S7, který je u zařízení Siemens často používán. [13] [14]

7.1.1 Struktura

Původní struktura, kdy všechny jednotky CPU komunikovaly s jednou centrální jednotkou byla pomalá, ale nemohla být zrušena, neboť by přestaly fungovat i jiné technologie v řízení. Proto bylo potřeba vystavět paralelně s tímto propojením ještě druhou komunikační linku která by přebrala postupně úlohy té první. Zvolena byla komunikace jednotlivých CPU mezi sebou, kdy bude kladen důraz na přenášení co nejmenšího počtu bytů. Po podrobné analýze komunikačních dat bylo zjištěno, že je možné data posílaná mezi CPU zmenšit z tisíců bytů na maximálně 100 bytů pro každé CPU což přinese potřebné zeštíhlení komunikace a její zrychlení.

7.1.2 PUT

Jedná se o komunikační blok, který vytvořila firma Siemens. Tento blok zapíše data na vzdálené CPU, které je určeno pomocí spojení S7. Jako vstupní parametry bloku slouží adresa v paměti CPU, ukazatel na adresu paměti vzdáleného CPU, hexadecimální číslo označující spojení S7. Výstupem je status, kód chyby a informace že přenos dat proběhl správně. Komunikace se inicializuje pomocí náběžné hrany na jednom ze vstupů, a proto byl vytvořen pomocí cyklického bloku OB35 symetrický pulz s periodou 100ms. [15]

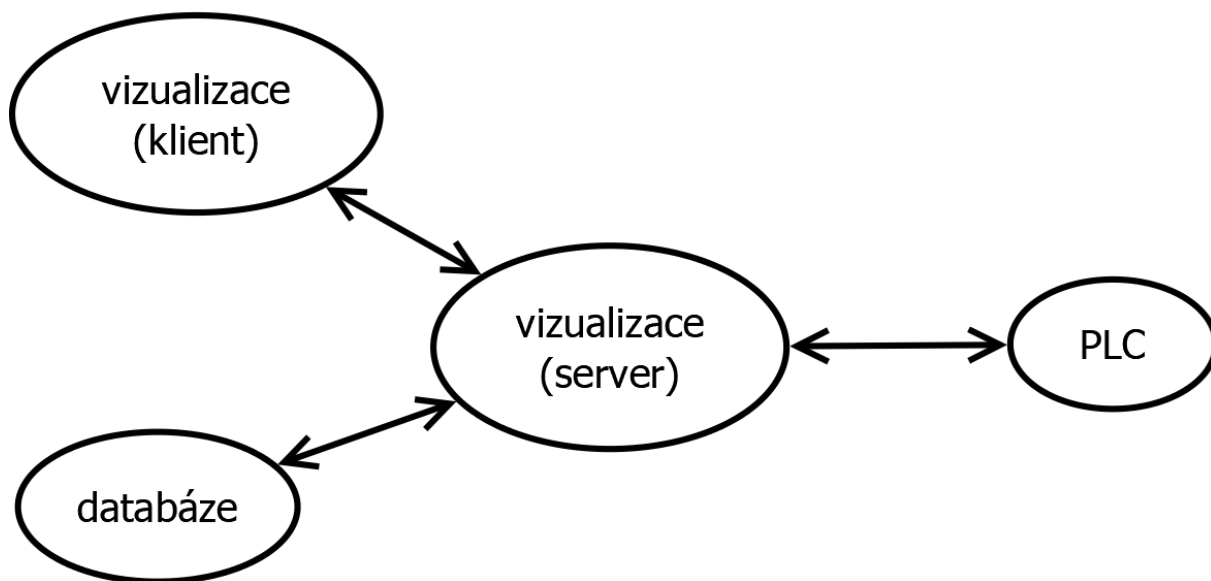
7.1.3 GET

Blok od firmy Siemens, který vyčte data ze vzdáleného CPU. Blok funguje obdobně jako blok PUT, i vstupní a výstupní parametry jsou podobné, jen s tím rozdílem že blok místo zápisu na vzdálené PLC data vyčítá ze vzdáleného PLC a ukládá je do daného bloku. [15]

7.2 Komunikace PLC a databáze

Tato komunikace je charakteristická tím že pro zajištění požadovaných funkcí stačí jednosměrná komunikace z PLC do databáze, která uchovává data.

Databáze je připojena na serverovou část vizualizace Obr. 21, a proto využívá data které čte z PLC vizualizace. Díky tomu nemusí být programu provedena žádná příprava pro databázi. Data z databáze jsou dále zobrazována pomocí aplikace Grafana. [16]



Obr. 21 Schéma komunikace mezi PLC vizualizací a databází

7.3 Komunikace PLC a vizualizace

Jedná se o obousměrnou komunikaci, která je realizována pomocí S7 protokolu. Využívá se u toho doplněk v serverové části Promotic vizualizace. Tento doplněk umožňuje vytvořit spojení pomocí S7 protokolu a pracovat s datovými bloky v PLC. Komunikace je nastavena ve vizualizaci a program v PLC se touto komunikací nemusí zabývat. Při realizaci je potřeba brát zřetel na to, aby vizualizace neměnila datové bloky nebo proměnné, které k tomu nejsou ze strany řídicího programu určeny. [17]

Datové bloky s daty pro vizualizaci byly zvoleny 4, a to hodnoty, povely, parametry a alarmy. Každý datový blok se jmenuje podle svého určení.

7.3.1 DB Hodnoty

V datovém bloku s názvem Hodnoty jsou všechny hodnoty systému. Jedná se o přibližně 2 kB dat. Nejčastěji se jedná o hodnoty typu Real, které jsou vyčítány z různých senzorů. Dále jsou v tomto bloku hodnoty typu Boolean, které informují o stavech jednotlivých prvků.

Data z tohoto bloku jsou také ukládána do databáze k následnému zpracování.

7.3.2 DB Parametry

Do tohoto bloku vkládá vizualizace parametry pro řídicí systém. Jedná se o hodnoty typu Word nebo Real a slouží k nastavení limitů, nebo parametrů pro měniče.

7.3.3 DB Alarmy

V tomto bloku jsou bitové informace o různých alarmních stavech, které generuje PLC a které jsou čtený a zpracovávány jak vizualizací, tak databází.

7.3.4 DB Povely

V tomto bloku jsou bitové povely z vizualizace pro PLC. Komunikace funguje tak, že vizualizace nastaví bit odpovídající požadovanému povelu a pokud ho PLC zpracuje je tento bit v PLC nastaven do 0.

8 Závěr

Ve své diplomové práci jsem realizoval řídicí systém pro laboratoř palivových článků. Spolupracoval jsem v týmu 3 lidí a společně jsme měli vytvořit řídicí systém s vizualizací a ukládáním dat do databáze.

Nejprve jsem provedl analýzu řídicích prvků v laboratoři, a nastudoval problematiku použitých PLC a vzdálených periférií. Poté jsem musel důkladně porozumět programu v PLC. Tento úkol byl velice složitý, neboť mnoho bloků programu bylo neúplných nebo nefunkčních a program byl psán ve třech různých programovacích jazycích. Laboratoř palivových článků je součástí většího technologického celku. Aby bylo možné v rámci tohoto celku laboratoř využít bylo potřeba přizpůsobit tomu i řídicí systém, proto jsem si musel udělat představu o celkovém stavu všech částí technologie, a v mém případě především řídicích programů v PLC.

Po provedení analýzy výchozího stavu jsme se v rámci týmu rozhodli změnit celou strukturu komunikace a vytvořit zcela novou vizualizaci. Z těchto důvodů bylo potřeba upravit již existující manuální řízení laboratoře a doplnit ho o další části. V rámci doplnění technologií jsem realizoval komunikaci po sběrnici Modbus a Profibus DP. Dále jsem vyvinul kód pro diagnostiku modulů připojených na sběrnici Profibus DP.

Při tvorbě automatického režimu jsem často narážel na omezený počet senzorů a nedostatečné možnosti akčních prvků, proto jsem při návrhu a realizaci nepočítal s plně automatickým režimem, ale pouze s automatizovanými sekvencemi prováděnými za dohledu zkušené obsluhy. V rámci návrhu automatického režimu jsem narazil na potřebu přidat do systému vyčítání dat z palivových článků. Při řešení tohoto problému jsem se seznámil se sběrnici CAN a realizoval jsem komunikaci pomocí této sběrnice.

Dalším bodem mé diplomové práce byla konfigurace provozního prostředí pro výměnu dat s ostatními technologiemi. Po analýze všech technologií jsem se rozhodl realizovat výměnu dat pomocí bloků integrovaných v PLC a protokolu S7 od firmy Siemens.

Konfiguraci provozního prostředí pro provoz vizualizace jsem řešil pomocí vytvoření datových bloků v paměti PLC a jejich dokumentaci. Dále jsme ve spolupráci s kolegy vytvořili systém posílání povelů a reakcí ze strany PLC, tak aby byla zajištěna spolehlivá komunikace.

V průběhu tvorby diplomové práce jsem prováděl průběžné testování programovaných částí kódu, a také jsem testoval chování jednotlivých prvků technologie.

Realizace diplomové práce mi zabrala téměř rok a v průběhu vypracování jsem získal mnoho nových znalostí o různých průmyslových sběrniciích a v průmyslu často využívaných řídicích prvcích. Dále jsem získal velké množství praktických zkušeností a naučil jsem se pracovat ve zcela novém programovacím prostředí. Při vypracování mě velmi zaujaly systémy PLC, které jsou odolné proti chybě, se kterými jsem se dosud při svém studiu nesetkal.

Literatura

- [1] *Nedstack* [online]. b.r. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <http://nedstack.nl/>
- [2] BEHLING, Noriko. *Fuel cells: current technology challenges and future research needs*. 1st ed. Amsterdam: Elsevier, 2013. ISBN 978-0-444-56325-5.
- [3] CPU 412-5H. *Siemens-Industry Mall* [online]. b.r. [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/6ES7412-5HK06-0AB0>
- [4] Napájecí zdroj. *Siemens-Industry Mall* [online]. b.r. [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/6ES7407-0KA02-0AA0>
- [5] ŠMEJKAL, Ladislav. *PLC a automatizace*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-730-0087-3.
- [6] PETRUZELLA, Frank. *Programmable logic controllers*. Fifth edition. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2017. ISBN 978-0073373843.
- [7] *Redundantní systém* [online]. b.r. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://w3.siemens.com/mcms/topics/en/simatic/high-availability-systems/system-architecture/redundant-io/pages/default.aspx>
- [8] ET200S IM 1. *Siemens-Industry Mall* [online]. b.r. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/6ES7151-1AA05-0AB0>
- [9] ET200S IM 2. *Siemens-Industry Mall* [online]. b.r. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ww/Catalog/Product/6ES7151-1CA00-0AB0>
- [10] *Festo* [online]. b.r. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: https://www.festo.com/cms/cs_cz/index.htm
- [11] *ADFWeb* [online]. b.r. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: <https://www.adfweb.com/home/default.asp>
- [12] *Profibus-DP diagnostic* [online]. b.r. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: https://support.industry.siemens.com/cs/document/2190197/how-do-you-read-out-the-diagnosis-data-of-a-profibus-dp-slave-with-the-sfc13-dpnrm_dg-and-how-do-you-evaluate-the-data-in-the-user-program?dti=0&lc=en-WW

- [13] *CPU-CPU komunikace* [online]. b.r. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/908/78028908/att_32073/v1/78028908_SIMATIC_Comm_DOKU_v21_e.pdf
- [14] *Komunikace S7* [online]. b.r. [cit. 2018-04-27]. Dostupné z: https://w3.siemens.com/mcms/sce/en/advanced_training/training_material/classic-modules/tabcardpages/pages/s7-communication.aspx
- [15] PUT/GET. *Https://support.industry.siemens.com* [online]. b.r. [cit. 2018-03-07]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/65975617/how-do-you-program-the-get-and-put-instructions-in-the-user-program-of-the-simatic-s7-1200-cpu-in-order-to-transfer-more-than-160-bytes-of-data-?dti=0&lc=en-WW>
- [16] *Grafana* [online]. b.r. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <https://grafana.com/>
- [17] *Promotic* [online]. b.r. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <https://www.promotic.eu/cz/index.htm>